UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERIA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

**Propuesta de rehabilitación con “textile reinforced mortar” de un
reservorio de agua apoyado de concreto armado con fisuras no
estructurales en el distrito de Villa Maria Del Triunfo**

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTOR(ES)

Aquino Baltazar, Joe Bryan (0000-0002-6550-7297)

Miranda Bellido, Herbert Edwin (0000-0003-0539-6879)

ASESOR

Torres Rojas, Max Pedro (0000-0003-4939-8403)

Lima, 14 de julio del 2021

©2021, UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS. Todos los
Derechos Reservados.

“Los autores autorizan a la UPC a reproducir la tesis en su totalidad o en parte, con fines
estrictamente académicos.”

Joe Bryan Aquino Baltazar
Correo: baquino@atjconsultores.com
Celular: 966013163

Herbert Edwin Miranda Bellido
Correo: hmirandabe@gmail.com
Celular: 958083251

DEDICATORIA

A mi hermano Gianfranco, quien fue alumno de Ingeniería Civil de la UPC y por orden de Dios ahora se encuentra con él, guiándome y enseñándome como siempre lo hizo ...

A mis padres Vicente y Eleuteria por su ejemplo de perseverancia y apoyo incondicional durante el desarrollo de la presente tesis. A mis hermanos, por su apoyo anímico y el esfuerzo que demuestran para cumplir sus objetivos.

AGRADECIMIENTOS

A los docentes de la UPC, por sus enseñanzas y la comprensión durante el desarrollo de las clases que permitieron formarnos como profesionales con visión que aporten en el desarrollo del país.

Al Ing. Max Torres Rojas, por la paciencia y recomendaciones para la mejora de la tesis en las asesorías para el desarrollo de la tesis.

Al Grupo PEYCO, por la información y asesoría externa

A la empresa SERINCO COLOMBIA, por la asesoría en la realización de los ensayos.

RESUMEN

La presente tesis tiene como finalidad demostrar que es posible la rehabilitación de un reservorio de agua de concreto armado apoyado con fisuras no estructurales usando *Textile Reinforced Mortar* (TRM).

Para el desarrollo de la tesis, se eligió como muestra uno de los trece reservorios que figuran en el estudio para la ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado de los sectores 311, 313, 330, 310, 312, 314, 300, 307, 319, 324, y 301 Nueva Rinconada, distritos de San Juan de Miraflores, Villa María del Triunfo y Villa el Salvador. El reservorio seleccionado fue el R -6A, el cual tiene una antigüedad de aproximadamente 30 años y tiene una capacidad de 750 m³.

Para identificar la zona donde se propone la rehabilitación del reservorio seleccionado, fue necesario identificar el origen de la falla, por lo que adicionalmente al diagnóstico obtenido del expediente técnico, se realizó la configuración estructural del reservorio con los datos obtenidos en campo. De este modo, los resultados hallados permitieron verificar que el diseño planteado hace más de 30 años cumplen con la normativa actual, comprobándose que las fallas que presenta el reservorio no son estructurales. Asimismo, los cálculos permitieron conocer la ubicación del área afectada, información que fue necesaria para elaborar la propuesta de rehabilitación con TRM y la alternativa seleccionada para la rehabilitación del muro del reservorio fue una matriz de mortero Sika Rep y una malla de refuerzo Sika Ward 350 G.

En la presente tesis, se realizaron los ensayos correspondientes a este material compuesto y se plantea el procedimiento para la rehabilitación, así como las pruebas de calidad necesarias para garantizar el apropiado uso de esta tecnología en constante desarrollo.

Palabras Claves:

Rehabilitación

Portland Cement Association - PCA

Textile Reinforced Mortar - TRM

ABSTRACT

This thesis is to demonstrate that it is possible to rehabilitate a supported reinforced concrete water reservoir with the presence of non-structural cracks using Textile Reinforced Mortar (TRM). For the development, one of the thirteen reservoirs that appear in the study for the expansion and improvement of the drinking water and sewerage systems of sectors 311, 313, 330, 310, 312, 314, 300, 307, was chosen as a sample. 319, 324, and 301 Nueva Rinconada, districts of San Juan de Miraflores, Villa María del Triunfo and Villa el Salvador. The selected reservoir is R -6A, which is approximately 30 years old and has a capacity of 750 m³.

To propose the rehabilitation of the chosen structure, it was necessary to identify the origin of the failure, so in addition to the structural diagnosis obtained from the technical file of the profile, the structural configuration of the reservoir was obtained with the data taken in the field. In this way, the results found allowed to verify that the design proposed more than 30 years ago complies with the current regulations and it was verified that the failures that the reservoir presents are not structural. Likewise, the calculations allowed the location of the affected area to be known, information that was necessary to prepare the rehabilitation proposal with TRM.

The alternative selected for the reservoir wall rehabilitation is the Textile Reinforced Mortar (TRM) system. In this thesis, the tests corresponding to this composite material were carried out and the procedure for rehabilitation is proposed, as well as the quality tests necessary to guarantee the appropriate use of this technology in constant development.

Keywords:

Rehabilitation

Portland Cement Association - PCA

Textile Reinforced Mortar - TRM

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	3
AGRADECIMIENTOS.....	4
RESUMEN	5
ABSTRACT	6
ÍNDICE.....	7
ÍNDICE DE TABLAS.....	11
ÍNDICE DE GRÁFICOS	13
INTRODUCCIÓN.....	15
1.1 ANTECEDENTES	15
1.1.1 Antecedente 1	15
1.1.2 Antecedente 2	16
1.1.3 Antecedente 3	16
1.1.4 Antecedente 4	19
1.1.5 Antecedente 5	22
1.2 REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	26
1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	27
1.4 HIPÓTESIS	27
1.5 OBJETIVO GENERAL.....	27
1.5.1 Objetivos Específicos	27
1.6 DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO	28
2 CAPITULO I: MARCO TEORICO.....	30
2.1 CONCEPTO	30
2.2 CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO	32
2.2.1 Determinación de esfuerzos y momentos flector por la presión hidrostática interna del líquido.....	32
2.2.1.1 Muro con base fija y libre de cobertura – Carga Triangular	32
2.2.1.2 Muro con base articulada y libre de cobertura – carga triangular	34
2.2.2 Fuerzas Hidrodinámicas	36
2.3 REFUERZOS EN CONCRETO ARMADO	39
2.3.1 Alternativas de solución	42

2.3.2	Alternativa seleccionada.....	45
2.4	ENSAYOS DE PROPIEDADES MECÁNICAS	46
2.4.1	Ensayo de Tracción Directa (Uniaxial):	46
2.4.2	Determinación de la resistencia a tracción del TRM.....	49
2.5	ENSAYOS DE CONTROL DE CALIDAD	50
2.5.1	Ensayo de Permeabilidad.....	50
2.5.2	Ensayo de Capilaridad	52
2.5.3	Prueba de Estandarización.....	53
2.5.4	Prueba de Adherencia	54
2.6	FISURAS NO ESTRUCTURALES Y ESTRUCTURALES.....	54
3	CAPITULO II: MATERIAL Y MÉTODO.....	55
3.1	MATERIAL.....	55
3.2	POBLACIÓN.....	55
3.3	MUESTRA	56
3.4	MÉTODO	56
3.4.1	Nivel de Investigación	56
3.4.2	Diseño de Investigación.....	56
3.5	Técnicas e Instrumentos de recolección de datos	57
4	CAPITULO III: OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN DE RESERVORIOS Y SELECCIÓN DE RESERVORIO DE ESTUDIO	60
4.1	Información de reservorios de agua de SEDAPAL	60
4.2	INSPECCIÓN DE RESERVORIOS EN EL DISTRITO DE VILLA MARÍA DEL TRIUNFO	61
4.2.1	Reservorios en el Sector 310	63
4.2.2	Reservorios en el Sector 312	64
4.2.3	Reservorios en el Sector 314	66
4.2.4	Reservorios en el Sector 313	67
4.3	SELECCIÓN DE RESERVORIO APOYADO CON FALLAS	70
4.3.1	Ubicación del reservorio.....	71
4.3.2	Geometría del reservorio	72
5	CAPITULO IV: CONFIGURACION Y DIAGNOSTICO DEL RESERVORIO..	74
5.1	CONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL.....	74

5.1.1	Resistencia del concreto	74
5.1.2	Descubrimiento de armadura.....	76
5.2	DISEÑO ESTRUCTURAL DEL RESERVORIO SELECCIONADO.....	77
5.2.1	Datos del reservorio seleccionado	77
5.3	ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y SÍSMICO	79
5.3.1	Análisis Estático	79
5.3.1.1	Verificación del predimensionamiento del reservorio.....	79
5.3.1.2	Verificación de espesor de muro	80
5.3.1.3	Calculo de las fuerzas de tensión por altura	82
5.3.1.4	Calculo de momento flector por altura	85
5.3.1.5	Calculo de la cortante en la base causada por el fluido	88
5.3.1.6	Calculo de la cortante influenciado por la cubierta	88
5.3.1.7	Cálculo de la fuerza cortante del borde causado por la presión de fluido	90
5.3.1.8	Calculo de las fuerzas de tracción y momentos causados por el fluido lleno con cubierta	93
5.3.2	ANÁLISIS DINAMICO	95
5.3.2.1	Análisis sísmico para tanque lleno	95
5.3.2.2	Calculo de la cortante a causa de la masa impulsiva.....	99
5.3.2.3	Calculo de la cortante a causa de la masa convectiva	100
5.3.2.4	Calculo de la cortante y momento de volteo total	100
5.3.2.1	Calculo del acero a tracción directa.....	112
5.3.2.1	Calculo del acero vertical	113
5.4	DIAGNÓSTICO ESTRUCTURAL	114
6	CAPITULO V: ELABORACIÓN DE PROBETAS Y PROPUESTA DE REHABILITACIÓN CON TRM	116
6.1	ENSAYO DE PROBETAS CON TEXTILE REINFORCED MORTAR	116
6.1.1	Ensayo de Tracción Directa (Uniaxial)	116
6.2	ELABORACIÓN DE PROBETAS	116
6.2.1	Preparación de probetas:.....	116
6.2.2	Materiales	118
6.2.2.1	Mortero Sika Rep	119
6.2.2.2	Malla SikaWrap 350 Grid.....	121

6.2.3	Procedimiento de ensayo	122
6.3	RESULTADOS Y PROPUESTA DE REHABILITACION	123
6.3.1	Interpretación de Resultados	125
6.3.2	Propuesta de rehabilitación.....	127
6.3.3	Pruebas de Calidad	133
6.3.3.1	Prueba de Adherencia.....	133
6.3.3.2	Prueba de Estanqueidad.....	133
7	CONCLUSIONES	135
8	RECOMENDACIONES	137

ANEXOS

ANEXO I: INFORME N° 02 -2016 -MSV - EVALUACION Y DIAGNOSTICO ESTRUCTURAL DE RESERVORIOS APOYADOS EXISTENTES.

ANEXO II: INFORME LABORATORIO UNI, TESTIGOS DIAMANTADOS DE CONCRETO.

ANEXO III: CONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL DEL RESERVORIO R-6A, TABLAS DE LA PCA.

ANEXO IV: HOJA TÉCNICA DE MATERIALES

ANEXO V: RESULTADOS DE LABORATORIO SERINCO COLOMBIA

ANEXO VI: PLANOS PARA REHABILITACIÓN

ANEXO VII: COTIZACIÓN DE MATERIALES

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales propiedades de los sistemas FRP según fabricantes	19
Tabla 2. Resumen de reservorios existentes.....	61
Tabla 3. Resistencia a la compresión de testigos extraídos de reservorio R-6A.	75
Tabla 4. Refuerzo horizontal obtenido para el muro cilíndrico del reservorio.	77
Tabla 5. Verificación de las dimensiones del reservorio.....	80
Tabla 6. Tensión anular máxima para base fija y articulada.	81
Tabla 7. Verificación del espesor de muro.	82
Tabla 8. Tensión sobre la pared del muro por altura con base empotrada.....	83
Tabla 9. Tensión sobre la pared del muro por altura con base articulada	84
Tabla 10. Momento flector por altura causado por la presión hidrostática con base empotrada	86
Tabla 11. Momento flector por altura causado por la presión hidrostática con base articulada.	87
Tabla 12. Cortante basal causada por el fluido.....	88
Tabla 13. Cortante en el borde influenciada por la cubierta.....	88
Tabla 14. Tracción a causa de la cortante en el borde superior, reservorio vacío.	89
Tabla 15. Cálculo de la fuerza cortante en el borde a causa de la presión de fluido.....	90
Tabla 16. Tracción debido a la fuerza cortante en el borde.....	91
Tabla 17. Momento flector debido a la cortante en el borde para el reservorio lleno.	92
Tabla 18. Tracción resultante para el reservorio lleno con cubierta.	93
Tabla 19. Momento flector resultante para el reservorio lleno con cobertura.....	94
Tabla 20. Cálculo del peso de la cúpula del reservorio.	96
Tabla 21. Cálculo de masa impulsiva y convectiva del reservorio.....	97
Tabla 22. Peso total de la masa impulsiva.....	98
Tabla 23. Cálculo de la cortante y momento debido a la masa convectiva.	100
Tabla 24. Cortante y momento de volteo total.	100
Tabla 25. Verificación de la altura de chapoteo y altura libre del reservorio.	101
Tabla 26. Distribución de la presión hidrodinámica en los muros.....	101
Tabla 27. Distribución de las tracciones con carga uniforme y base fija.	103
Tabla 28. Distribución de las tracciones con carga variable y base fija.....	104
Tabla 29. Distribución de tracción total base fija.	104
Tabla 30. Cálculo de la cortante y tracción en el borde influenciada por la cubierta.	105
Tabla 31. Tracción total y tracción factora por sismo para diseño.....	105
Tabla 32. Parámetros para el cálculo del momento flector reservorio lleno sin cubierta con base fija.	107
Tabla 33. Momento para reservorio lleno distribución uniforme.....	107
Tabla 34. Momento para reservorio lleno distribución triangular.....	108
Tabla 35. Momento total para reservorio lleno con base fija.....	108
Tabla 36. Datos requeridos para el cálculo del momento por la cortante de borde.	109
Tabla 37. Momento a causa de la cortante de borde, reservorio lleno con cubierta.	109
Tabla 38. Momento total para el reservorio lleno y con cubierta.	110
Tabla 39. Acero a tracción directa y separación.	112

<i>Tabla 40. Combinaciones de las probetas.</i>	<i>123</i>
<i>Tabla 41. Resultados de las probetas ensayadas.</i>	<i>124</i>
<i>Tabla 42. Cuadro de partidas, recursos y fuente.</i>	<i>132</i>

ÍNDICE DE GRÁFICOS

<i>Figura 1. Tanque de mampostería reforzado con aros de acero dañado por la corrosión.</i>	<i>17</i>
<i>Figura 2. Instalación de CFRP.</i>	<i>18</i>
<i>Figura 3. Dimensiones de las columnas ensayadas.</i>	<i>20</i>
<i>Figura 4. Fotografías durante la aplicación de reforzamiento.</i>	<i>20</i>
<i>Figura 5. Modos de falla de los especímenes.</i>	<i>21</i>
<i>Figura 6. Detalle de las bóvedas para ambos casos exterior e interior.</i>	<i>22</i>
<i>Figura 7. Esquema de la configuración de las bóvedas para ambos casos exterior e interior.</i>	<i>23</i>
<i>Figura 8. Fases del reforzamiento: inyección (a), posicionamiento de tiras en diagonal (b), reforzamiento de arcos laterales (c), detalle del TRM (d), configuración final del TRM retro adaptado (e).</i>	<i>24</i>
<i>Figura 9. Comparación del patrón de fisuración de la bóveda Caso B: sin reforzar (a) y bóveda reforzada (b).</i>	<i>25</i>
<i>Figura 10. Configuraciones típicas de estructuras apoyadas.</i>	<i>32</i>
<i>Figura 11. Muro con base fija y libre de cubierta, carga triangular.</i>	<i>33</i>
<i>Figura 12. Muro con base articulada y libre de cobertura.</i>	<i>34</i>
<i>Figura 13: Tensión anular para el muro de tanque con base articulada y libre de cobertura ..</i>	<i>35</i>
<i>Figura 14: Momentos en el muro con base articulada y libre de cubierta – carga triangular. .</i>	<i>35</i>
<i>Figura 15. Modelo para un depósito sujeto a la acción sísmica.</i>	<i>36</i>
<i>Figura 16. Oscilación del fluido en el reservorio y modelo dinámico.</i>	<i>38</i>
<i>Figura 17. Evolución de los materiales de ingeniería e importancia relativa.</i>	<i>39</i>
<i>Figura 18. Resistencia a la tensión según la orientación de la fibra. (b)alineación de fibras para conseguir un material compuesto casi isotrópico.</i>	<i>40</i>
<i>Figura 19. Esquema de configuración del TRM, matriz, refuerzo y producto acabado.</i>	<i>44</i>
<i>Figura 20. Relación tensión-deformación de los diferentes tipos de fibra utilizados en los tejidos de TRM.</i>	<i>45</i>
<i>Figura 21. Fuerzas de tracción generadas por la presión del agua.</i>	<i>47</i>
<i>Figura 22. Montaje para el ensayo de tracción de probetas TRM.</i>	<i>48</i>
<i>Figura 23. Curva tensión-deformación ideal de un espécimen de TRM sometido a tracción. ...</i>	<i>49</i>
<i>Figura 24. Ensayo de permeabilidad.</i>	<i>50</i>
<i>Figura 25. Permeabilidad vs Relación agua/cemento.</i>	<i>51</i>
<i>Figura 26. Plano de ubicación del área de estudio.</i>	<i>55</i>
<i>Figura 27. Formato de carta de solicitud de información.</i>	<i>58</i>
<i>Figura 28. Ficha de reporte de visita.</i>	<i>59</i>
<i>Figura 29. Plano de ubicación por sectores.</i>	<i>62</i>
<i>Figura 31. Ficha de reporte de visita 3-A.</i>	<i>63</i>
<i>Figura 37. Ficha de reporte de visita R-7A.</i>	<i>66</i>
<i>Figura 38. Ficha de reporte de visita RP-2A.</i>	<i>67</i>
<i>Figura 43. Plano A de ubicación del reservorio R-6A.</i>	<i>71</i>
<i>Figura 44. Plano B de ubicación del reservorio R-6A.</i>	<i>72</i>
<i>Figura 45. Geometría del reservorio R-6A.</i>	<i>72</i>
<i>Figura 46. Vista en planta del reservorio existente R-6A.</i>	<i>73</i>
<i>Figura 47. Vista panorámica del reservorio R-6A.</i>	<i>73</i>

Figura 48. Ubicación de los puntos de extracción de testigos con diamantinas.	75
Figura 49. Descubrimiento de armadura (muro cilíndrico).	76
Figura 50. Fuerzas de tensión de reservorio lleno con base fija y sin cobertura.	82
Figura 51. Distribución de la tensión sobre el muro con base articulada.	84
Figura 52. Comparación de tensiones sobre el muro con base empotrada y base articulada. ..	85
Figura 53. Comparación de momento flector sobre el muro con base empotrada y base articulada.	87
Figura 54. Tracción a causa de la cortante en el borde superior, reservorio vacío.	89
Figura 55. Tracción por la cortante en el borde para el reservorio lleno.	91
Figura 56. Grafico del momento flector debido a la cortante para el tanque lleno.	93
Figura 57. Gráfico de la tracción resultante del tanque lleno con cobertura.	94
Figura 58. Gráfico del momento flector resultante para el reservorio lleno y con cubierta.	95
Figura 59. Relación óptima entre f/D y el diámetro del reservorio.	96
Figura 60. Datos necesarios para el cálculo de la cortante basal.	99
Figura 61. Distribución lineal equivalente de las presiones hidrométricas locales.	102
Figura 62. Artificio de descomposición de cargas para el cálculo de la tracción.	103
Figura 63. Tracción total por sismo del reservorio lleno con cubierta.	106
Figura 64. Momento total por sismo del reservorio lleno con cubierta.	110
Figura 65. Envoltente de tracciones del reservorio lleno con cubierta.	111
Figura 66. Envoltente de momento flector del reservorio lleno con cubierta.	111
Figura 67. Zona con defectos y falta de recubrimiento de acero.	114
Figura 68. Zona para la rehabilitación con TRM.	115
Figura 69. Dimensiones de probetas de TRM ensayados.	117
Figura 70. Impregnación de líquido desmoldante en el encofrado (izquierda) y Colocación de la primera capa de mortero (derecha).	118
Figura 71. Probeta de TRM terminada lista para su ensayo.	118
Figura 72. Mortero SikaRep.	120
Figura 73. SikaWrap 350G Grid.	121
Figura 74. Configuración del ensayo a tracción de la probeta TRM.	122
Figura 75. Configuración inicial de la mordaza y el ensayo de tracción.	123
Figura 76. Grafico del modo de falla tipo 1, al interior de la mordaza.	125
Figura 77. Grafico del modo de falla tipo 3, falla en la junta del refuerzo adicional.	125
Figura 78. Tramos para la rehabilitación de la zona afectada.	127
Figura 79. Aplicación de aditivo en el paño a rehabilitar.	129
Figura 80. Aplicación de la primera capa de mortero.	129
Figura 81. Instalación de la malla de refuerzo de fibra de vidrio.	130
Figura 82. Instalación de la segunda capa de mortero TRM.	131

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

1.1.1 Antecedente 1

En el artículo de investigación de Bernat Maso, publicado en la revista “Informes de la Construcción”, se analizaron los materiales *Textile Reinforced Mortar (TRM)* y *Fiber Reinforced Polymer (FRP)*, los cuales han sido comparados de forma experimental y analítica con el objetivo de demostrar que, mediante su uso de estos materiales, es posible mejorar las propiedades de muros de ladrillo. Para la realización del análisis, se construyeron a escala real dos grupos de muros de albañilería, los cuales fueron reforzados un grupo con TRM y otro con FRP. Estos fueron comparados analizando su capacidad de carga y su resistencia a los efectos de flexión.

Los resultados que se muestran en el artículo, indican que ambos sistemas presentan un comportamiento similar respecto a su capacidad de carga. En el caso de los muros reforzados con TRM mostraron desplazamientos laterales superiores a los reforzados con FRP. Asimismo, se demuestra que ambos sistemas son efectivos para prevenir la falla mixta por flexión y pandeo, la cual es típica en los muros de ladrillos no reforzados sometidos a cargas excéntricas de compresión. Maso. (2016).

Finalmente, del artículo se puede concluir que ambos sistemas de fortalecimiento son adecuados para las estructuras estudiadas en las situaciones de carga definidas. Por lo tanto, en base a estos resultados favorables en la tesis se propone el reforzamiento con TRM del reservorio de agua de concreto armado apoyado con fisuras no estructurales.

1.1.2 Antecedente 2

Según el artículo de investigación realizado por Christopher Higgins y William Farrow (2006), es crucial analizar como la corrosión de los estribos afecta la resistencia de las vigas de concreto armado, ya que según los resultados del análisis que realizaron los autores, les permitió conocer el efecto que causa el deterioro de los estribos sobre el comportamiento por cortante en las vigas y su correspondiente patrón de agrietamiento.

En el citado artículo, para la realización de dicho análisis, se elaboraron dos vigas de concreto armado a tamaño real con refuerzo vertical y transversal, de las cuales una de ellas fue inducida a una corrosión acelerada, la cual ha sido monitoreada hasta que se alcance el nivel de corrosión esperado. Seguidamente, ambas vigas fueron ensayadas a flexión, donde los resultados indican que existe una diferencia sustancial en el grado de agrietamiento de ambas, ya que en la viga inducida ha corrosión se muestra una pérdida de capacidad a cortante por tensión diagonal superior que en la viga no alterada. Por lo que, se indica que es necesaria la reparación de las vigas agrietadas antes que los agentes externos corroan los aceros de refuerzo.

1.1.3 Antecedente 3

En vista a que el estudio de rehabilitación con *Textile Reinforced Mortar* se encuentra aún en fase embrionaria, se citará también un caso de una estructura de superficie curva rehabilitada con *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP).

QuakeWrap (2006), empresa líder mundial en el diseño, suministro e instalación de materiales poliméricos reforzados con CFRP, presenta el caso de un tanque de agua circular industrial de mampostería de 10 metros de diámetro y 8 metros de altura, reforzado exteriormente con acero como se aprecia en la figura 1. El acero en esta estructura mostraba un daño severo debido al ambiente altamente corrosivo de un molino de papel. Por lo que, se requería de un sistema que protegiera contra la corrosión al tanque y además que sustituyera cualquier pérdida en el acero de refuerzo horizontal tal como se puede ver en la figura 1.

Figura 1. Tanque de mampostería reforzado con aros de acero dañado por la corrosión.

Fuente: Quakewrap 2006

Como alternativa, se seleccionó el sistema de reparación con CFRP para proveer una barrera anticorrosión y libre de mantenimiento. Por lo que, se generó un diseño a base de CFRP para restituir la resistencia original del acero de refuerzo horizontal dañado por la corrosión. Una vez que el acero de refuerzo horizontal corroído y los muros de cerámica fueron limpiados y tratados, se procedió a instalar una capa de tela de fibra de carbono, traslapándolo para poder dar una transferencia de fuerzas apropiada entre tiras de CFRP. En total, se instalaron 1600 m² de fibra de carbono.

Figura 2. Instalación de CFRP.

Fuente: Quakewrap 2006

Es importante mencionar que el sistema CFRP se distingue de otros materiales compuestos por tener características específicas que le proporcionan ventajas, que según (Baca, 2008) son:

- Baja densidad (1.8 a 2.2 g/cm³) y poco peso, lo cual no aumenta carga a la estructura y facilita la instalación.
- Tienen un coeficiente de dilatación muy bajo, lo que permite una gran estabilidad dimensional a las estructuras y una conductividad térmica elevada.
- Resistencia a las variaciones de temperatura, conservando su forma.
- Resistente a la corrosión
- De sección delgada, pueden ser fácilmente cruzadas y traslapadas.
- No modifican la arquitectura o tamaño de la sección a reforzar por su espesor reducido.
- Elevada resistencia mecánica con un módulo de elasticidad elevado.
- Es muy resistente a la tracción

Las principales propiedades de los sistemas FRP incluido el CFRP según la información disponible proporcionadas por los fabricantes se muestra en tabla 1.

Tabla 1. Principales propiedades de los sistemas FRP según fabricantes

FRP system	Fiber type	Weight, g/m ² (lb/ft ²)	Design thickness, mm (in.)	Tensile strength, MPa (ksi)	Tensile elastic modulus, GPa (ksi)	ACI 440.3R test reporting method
Fyfe Co. LLC (2005)						
Tyfo SEH51 sheet	Glass	915 (0.19)	1.3 (0.052)	575 (83.4)	26.1 (3785)	Method 1
Tyfo SCH41 sheet	Carbon	644 (0.14)	1.0 (0.040)	985 (143)	95.8 (13,900)	Method 1
Sika Corp. (2007)						
SikaWrap Hex 100G sheet	Glass	913 (0.19)	1.0 (0.040)	531 (77)	23.6 (3430)	Method 1
SikaWrap Hex 103C sheet	Carbon	618 (0.13)	1.0 (0.040)	717 (104)	65.1 (9450)	Method 1
CarboDur S plate	Carbon	1800 (0.37)	1.2 to 1.4 (0.048 to 0.055)	2800 (406)	165 (23,900)	Method 1
CarboDur M plate	Carbon	1900 (0.39)	1.2 (0.048)	2400 (348)	210 (30,500)	Method 1
CarboDur H plate	Carbon	1900 (0.39)	1.2 (0.048)	1300 (189)	300 (43,500)	Method 1
BASF (2006)						
MBrace EG 900 sheet	Glass	900 (0.19)	0.37 (0.015)	1517 (220)	72.4 (10,500)	Method 2
MBrace AK 60 sheet	Aramid	600 (0.12)	0.28 (0.011)	2000 (290)	120 (17,400)	Method 2
MBrace CF 130	Carbon	300 (0.062)	0.17 (0.007)	3800 (550)	227 (33,000)	Method 2
MBrace CF 160	Carbon	600 (0.124)	0.33 (0.013)	3800 (550)	227 (33,000)	Method 2
S&P 100/1.4	Carbon	—	1.4 (0.055)	2700 (390)	159 (23,000)	Method 1
Hughes Brothers (2005)						
Aslan 400 plate	Carbon	—	1.4 (0.055)	2400 (350)	131 (19,000)	Method 1
Aslan 500 tape	Carbon	—	2.0 (0.079)	2068 (300)	124 (18,000)	Method 1
Aslan 500 tape	Carbon	—	4.5 (0.177)	1965 (285)	124 (18,000)	Method 1

Fuente: (ACI Committee 440, 2007)

1.1.4 Antecedente 4

Koutas y Bournas (2020), en su investigación titulada *Confinement of masonry columns with textile-reinforced mortar jackets*, realizan experimentalmente el confinamiento de columnas de mampostería con *Textile Reinforced Mortar*. El objetivo del artículo es demostrar que con este refuerzo es posible mejorar la capacidad de carga axial y deformabilidad de las columnas de ladrillo. Los sistemas TRM seleccionados están compuestos por tejidos de fibra de vidrio, carbono y basalto en combinación con mortero de cemento.

Primero, se construyeron un total de 26 columnas de mampostería, las cuales se dividieron en dos series “A” y “B”, la primera de sección cuadrada y la segunda de sección rectangular. Luego, se reforzaron con TRM doce muestras de cada grupo quedando dos de ellas sin confinamiento, las cuales sirvieron de referencia para una evaluación posterior. Las dimensiones de los especímenes, en milímetros, se muestran en la siguiente figura 3.

Figura 3. Dimensiones de las columnas ensayadas.

Fuente: Confinement of masonry columns with textile-reinforced mortar jackets (p. 2). Koutas y Bournas (2020).

Los reforzamientos a las muestras se realizaron a las dos semanas de su construcción. Asimismo, el confinamiento con TRM elaborado se puede observar en la figura 4. En cuanto a los ensayos, se hicieron a las 4 semanas de su ejecución, sometiendo a compresión los especímenes mediante una máquina de compresión hidráulica, la cual accionó de forma constante una carga de 2000 KN a una tasa de desplazamiento de 0,02 mm/s hasta generar la rotura de las probetas. Los modos de falla de las diferentes muestras se pueden apreciar en la figura 5.

Figura 4. Fotografías durante la aplicación de reforzamiento.

Fuente: Confinement of masonry columns with textile-reinforced mortar jackets (p. 5). Koutas y Bournas (2020).

Figura 5. Modos de falla de los especímenes.

Fuente: Confinement of masonry columns with textile-reinforced mortar jackets (p. 8). Koutas y Bournas (2020).

Finalmente, los autores concluyen que el reforzamiento con TRM aumentó la resistencia a la compresión y la deformación axial máxima de los especímenes. Los resultados mostraron un factor de efectividad que varió entre 1.02 y 1.61, y de 1.05 a 4.11 respectivamente. Asimismo, el estudio reflejó un aumento casi lineal entre la resistencia a la compresión y la relación de refuerzo. En relación a la deformación axial, el rendimiento del sistema TRM con fibra de vidrio fue similar en las columnas cuadradas pero diferentes en las rectangulares. Sin embargo, la utilización del textil de fibra de basalto condujo a un rendimiento superior en todas las muestras.

1.1.5 Antecedente 5

Bertolesi, Torres. Adam. Calderón y Moragues (2020), en su investigación denominada *Effectiveness of Textile Reinforced Mortar (TRM) materials for the repair of full-scale timber masonry cross vaults*, se evaluó la eficacia del refuerzo TRM aplicado a bóvedas de mampostería. Para ello, se construyeron dos bóvedas, de base de 4 x 4 m y de una altura de 1.80 m (figura 6), las cuales se basaron en las particularidades de la bóveda de la iglesia del castillo de San Lorenzo de Cabres, la misma que fue construida sobre 4 soportes cuya configuración se puede observar en la figura 7.

Figura 6. Detalle de las bóvedas para ambos casos exterior e interior.

Fuente: Effectiveness of Textile Reinforced Mortar (TRM) materials for the repair of full-scale timber masonry cross vaults (p. 3). Bertolesi, Torres. Adam. Calderón y Moragues (2020).

Figura 7. Esquema de la configuración de las bóvedas para ambos casos exterior e interior.

Fuente: Effectiveness of Textile Reinforced Mortar (TRM) materials for the repair of full-scale timber masonry cross vaults (p. 2). Bertolesi, Torres. Adam. Calderón y Moragues (2020).

Para evaluar la respuesta a los desplazamientos verticales de los soportes, ambas bóvedas fueron dañadas previamente por medio de asentamientos verticales monótonos para el caso A y cíclicos para el caso B. Luego, se reforzaron las estructuras con una capa de 10 a 15 mm de espesor de TRM, las cuales posteriormente se ensayaron hasta generar su falla. Ello, a fin de evaluar la influencia del refuerzo TRM para re estabilizar la continuidad original de las bóvedas dañadas minimizando la invasividad de la intervención.

Figura 8. Fases del reforzamiento: inyección (a), posicionamiento de tiras en diagonal (b), reforzamiento de arcos laterales (c), detalle del TRM (d), configuración final del TRM retro adaptado (e).

Fuente: Effectiveness of Textile Reinforced Mortar (TRM) materials for the repair of full-scale timber masonry cross vaults (p. 4). Bertolesi, Torres. Adam. Calderón y Moragues (2020).

Para el ensayo, se utilizó una compleja red de sensores ópticos y tradicionales para monitorear los desplazamientos, la deformación y el desarrollo del mecanismo de fisuración en ambas condiciones de asentamiento. La reparación se evaluó en términos de: (i) curvas de desplazamiento impuestas por la fuerza de reacción obtenidas al final de las pruebas, (ii) patrones de fisuración y (iii) anchos de fisura. En la figura 9 se puede apreciar el patrón de fisuración de la bóveda ante asentamientos cíclicos.

Figura 9. Comparación del patrón de fisuración de la bóveda Caso B: sin reforzar (a) y bóveda reforzada (b).

Fuente: Effectiveness of Textile Reinforced Mortar (TRM) materials for the repair of full-scale timber masonry cross vaults (p. 13). Bertolesi, Torres. Adam. Calderón y Moragues (2020).

Finalmente, la investigación concluye que el método adoptado mostró la validez y las limitaciones de los materiales de reparación TRM comparando el comportamiento de las bóvedas reforzadas y no reforzadas. Asimismo, se indica que:

- Los materiales TRM restauraron la continuidad de dos bóvedas gravemente dañadas.
- La configuración de refuerzo radial propuesta restauró parcialmente la rigidez elástica inicial de las bóvedas dañadas en ambos casos.
- El refuerzo TRM duplicó la fase elástica de las bóvedas y los desplazamientos finales.
- En las pruebas cíclicas, la bóveda reparada por TRM sufrió daños mucho más graves que al final de las pruebas monótonas. Como es el caso del soporte S2 que tenía una abertura máxima de fisura de 16 mm.
- La falla de TRM en el Caso A (asentamiento monotónico hacia abajo) comprendió el agrietamiento del mortero de refuerzo y no se detectó ningún

desprendimiento, deslizamiento de fibra a matriz o fallas de tracción de la rejilla textil.

- La falla del TRM en el Caso B (movimiento vertical cíclico) se caracterizó por la apertura de amplias grietas en el soporte S2, con el agrietamiento de la matriz de mortero y la falla por tensión de la malla de fibra.

1.2 REALIDAD PROBLEMÁTICA

Según la Organización de las Naciones Unidas, las poblaciones que tienen menos de 1,700 m³ de agua por habitante al año, se encuentran en estado de escasez hídrica. En Lima, la disponibilidad de agua es de 125 m³, por lo que, en la actualidad, se vienen ejecutando proyectos que permitan cerrar las brechas de cobertura de agua y saneamiento en todo el país.

De acuerdo a la data obtenida de SEDAPAL, en la actualidad se viene realizando el estudio para la ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado de los sectores 311, 313, 330, 310, 312, 314, 300, 307, 319, 324, y 301 Nueva Rinconada, distritos de San Juan de Miraflores, Villa María del Triunfo y Villa el Salvador.

El objetivo central de este proyecto es lograr el eficiente servicio de saneamiento básico en el esquema Nueva Rinconada. Asimismo, según el estudio de balance de oferta y demanda de la fuente, el cual figura en el perfil del proyecto, se pretende que la disponibilidad de agua esté garantizada hasta el año 2038.

Uno de los componentes de este proyecto es el Sistema de Agua Potable que a su vez tiene como sub componente a los reservorios, es por ello, que para los existentes se plantea su mejoramiento y/o rehabilitación, considerando los resultados de la evaluación del sistema existente de dichas estructuras y los requerimientos de almacenamiento en el horizonte del proyecto.

Con la finalidad de buscar soluciones técnicas y realistas que garanticen el adecuado abastecimiento de agua al distrito de Villa María del Triunfo, en lo que corresponde a la rehabilitación de reservorios con fisuras no estructurales se plantea el uso de TRM como una nueva alternativa. De modo, que quede como antecedente y permita estandarizar las metodologías de cálculo, diseño y ejecución, garantizando así un uso apropiado de esta tecnología en constante desarrollo.

1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Es posible rehabilitar un reservorio de agua apoyado de concreto armado con fisuras no estructurales con Textile Reinforced Mortar?

1.4 HIPÓTESIS

Mediante el Textil Reinforced Mortar (TRM), es posible rehabilitar, de forma no invasiva la estructura de un reservorio apoyado de concreto armado con fisuras no estructurales para el almacenamiento de agua potable.

1.5 OBJETIVO GENERAL

Plantear la aplicación de la tecnología TRM para la rehabilitación de un reservorio apoyado de agua de concreto armado con fisuras no estructurales perteneciente a SEDAPAL en el distrito de Villa María del Triunfo.

1.5.1 Objetivos Específicos

- Obtener información de reservorios de agua de SEDAPAL del distrito de Villa María del Triunfo y seleccionar uno con defectos que sea representativo para evaluación.
- Realizar la configuración estructural del reservorio seleccionado y presentar el diagnóstico estructural del reservorio.

- Realizar los ensayos de probetas de TRM y proponerlo como alternativa de solución para la rehabilitación del reservorio seleccionado con *Textile Reinforced Mortar*.

1.6 DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO

La parte inicial de la tesis, corresponde a la introducción donde se da conocer los estudios previos del tema, la realidad problemática, el planteamiento del problema, los objetivos y la hipótesis de la investigación.

Posteriormente la tesis se divide en cinco capítulos:

El primer capítulo, se muestra el marco teórico para el desarrollo de los cálculos en reservorios en base al método de la PCA (Portland Cement Association) y se describe las características del TRM (Textile Reinforced Mortar).

El segundo capítulo, corresponde a materiales y método, donde se da a conocer la población, la muestra y el nivel de investigación a la que corresponde la tesis. Además, se muestra las fichas y formatos para la obtención de la información de los reservorios.

En el tercer capítulo, se muestra la información obtenida y datos de SEDAPAL proporcionados por el Grupo PEYCO respecto a los reservorios de agua ubicados en el distrito de Villa María del Triunfo, así como, los reportes de inspección realizada a todos los reservorios. Además, da a conocer las características del reservorio apoyado seleccionado para su evaluación en la presente investigación.

En el cuarto capítulo, a partir de los datos obtenidos, se realiza el cálculo para la mostrar la configuración correspondiente del reservorio R-6A que fue seleccionado previamente. Además, se realiza el diagnóstico y se corrobora que las fisuras no estructurales observadas en campo visualmente son porque, la separación del acero

de refuerzo horizontal considerado en su construcción es mayor a la separación calculado en el diseño.

En el quinto capítulo, se muestra la preparación de probetas de TRM y los resultados de los ensayos realizados. Asimismo, se plantea la rehabilitación mediante el TRM del reservorio seleccionado y se describe el procedimiento por fases del proceso de rehabilitación.

Finalmente, se culmina la presente investigación con las conclusiones y recomendaciones para posteriores investigaciones respecto al *Textile Reinforced Mortar*.

2 CAPITULO I: MARCO TEORICO

2.1 CONCEPTO

Un reservorio, es la parte del sistema de abastecimiento de agua potable que recibe un gasto desde la fuente de abastecimiento para satisfacer las demandas variables de la población a lo largo del día; permite el almacenamiento de un volumen de agua cuando la demanda en la población es menor que el gasto de llegada y el agua almacenada se utiliza cuando la demanda es mayor. Generalmente esta regulación se hace por periodos de 24 horas (Comisión Nacional del Agua, 2007).

Según la Comisión Nacional del Agua de México, los reservorios o tanques están clasificados como.

- **Tanques Enterrados:** Construidos bajo el nivel del suelo y tienen como principal ventaja proteger el agua de las variaciones de temperatura y se adaptan al entorno. Asimismo, presenta el inconveniente de requerir importantes tanto para las excavaciones para las instalaciones de conexión y el propio tanque. Además, la dificultad de control de posibles filtraciones que se puedan presentar en la estructura.
- **Tanques Semienterrados:** Estos tanques tienen parte de su estructura bajo el nivel del terreno y parte sobre el nivel del terreno. Se emplean generalmente cuando la altura topográfica respecto al punto de alimentación es suficiente y el terreno presenta dificultad de excavación.
- **Tanques Superficiales:** Los tanques superficiales están construidos sobre la superficie del terreno. La construcción de este tipo de tanques es común cuando el terreno es "duro" o conviene no perder altura y se cuenta con una topografía adecuada.
- **Tanques Elevados:** Los tanques elevados son aquellos cuya base está por encima del nivel del suelo, y se sustenta a partir de una estructura. Generalmente son construidos en localidades con topografía plana donde no hay presencia de elevaciones naturales con altimetría apropiada. El tanque elevado se refiere a la

estructura integral que consiste en el tanque, la torre y la tubería de alimentación y descarga.

Por otro lado, según el ACI 350.3-01 y comentarios 350.3R-01 correspondientes al diseño sísmico de estructuras contenedoras de líquidos en su capítulo 2 tipos de estructuras contenedoras de líquidos, se toma en consideración las estructuras apoyadas en tierra y las estructuras sobre pedestales.

Las estructuras apoyadas en tierra se clasifican según su configuración general en rectangular o circular. Por el tipo de unión, como muro – base empotrada, simple o de base flexible. Otro aspecto, es el método constructivo que puede ser concreto armado o pre-tensado.

Clasificación de estructuras apoyadas en tierra ACI 350.3 (2001):

1. Tanques rectangulares

Tipo 1.1 base empotrada

Tipo 1.2 base simplemente apoyada

2. Tanques circulares

Tipo 2.1 base empotrada

(1) hormigón armado

(2) hormigón pre-tensado

Tipo 2.2 base simplemente apoyada

(1) hormigón armado

(2) hormigón pre-tensado

Tipo 2.3 base flexible (sólo hormigón pre-tensado)

(1) anclados

(2) no anclados, llenos

(3) no anclados, vacíos

En la figura 10, se muestra la sección y la vista en planta de las configuraciones típicas para estructuras apoyadas.

Figura 10. Configuraciones típicas de estructuras apoyadas.

Fuente: ACI 350.3 (2001).

2.2 CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO

El análisis estructural se realizará de acuerdo al método racional especificado en el documento de *Portland Cement Association "Circular, Concrete Tanks Without Prestressing"*. Asimismo, es importante mencionar que no se utilizaron los programas de cómputo, tales como ETABS, SAP 2000, etcétera, ya que los resultados que entregan son aproximados, debido a que siguen el método de elementos finitos. En cambio, el método racional tiene mayor precisión, pues se basa en las tablas del Anexo 1 del documento *Circular Concrete Tanks Without Prestressing*, las cuales se deducen de las fórmulas para el análisis de muros sujetos a esfuerzos triangulares especificadas en el libro de S. Timoshenko y S. Woinowsky-Krieger *"Theory of Plates and Shells"* publicado en 1959 por la editorial McGraw Hill Book Co.

2.2.1 Determinación de esfuerzos y momentos flector por la presión hidrostática interna del líquido

2.2.1.1 Muro con base fija y libre de cobertura – Carga Triangular

El cálculo para una pared con una base fija y una parte superior libre, el coeficiente para determinar la tensión del anillo, los momentos y el corte en la pared del tanque se muestran en las tablas A-1, A-2 y A-12 de la PCA (Gogate & Domel, 1993), los mismos que se muestran en el anexo III. Los

valores apropiados que se utilizarán para la dimensión del tanque se determinan al encontrar el valor de H^2 / Dt .

Donde:

H: Altura del tirante del líquido

D: Diámetro del tanque

t: Espesor del tanque

En la figura 11, se muestra el esquema de la carga anular en la pared con base fija y libre de cubierta.

Figura 11. Muro con base fija y libre de cubierta, carga triangular.

Fuente: (Gogate & Domel, 1993, pág. 5), PCA.

La tensión anular se calcula multiplicando $W_u \times H \times R$, así mismo, la carga hidrostática última (W_u) es calculado mediante la siguiente expresión.

$$W_u = \text{Coef. sanitario} \times (1.7 \times \text{peso del líquido})$$

Por otro lado, el momento en la pared vertical está dado por la multiplicación de la carga hidrostática última (W_u) y la altura del muro al cubo (H^3). Donde el coef. sanitario de conformidad con las disposiciones contenidas en el informe del Comité 350 de ACI, se debe considerar un

coeficiente sanitario de 1.65 para la tensión directa y de 1.3 para flexión (Pavón, 2001).

Finalmente, el corte aplicado está dado por la multiplicación de la presión hidrostática última por la altura al cuadrado y el coeficiente 0.166.

$$V_u = 0.166 \times W_u \times H^2$$

2.2.1.2 Muro con base articulada y libre de cobertura – carga triangular

Según (Pavón, 2001), suponer que la base se encuentra empotrada, suministra un diseño económico. Sin embargo, dicha suposición puede dar lugar a un diseño inseguro, si previamente no se lleva a cabo una investigación que garantice que no existen desplazamientos y rotaciones en la base. Los estudios que se presentan en la publicación citada, indican que es difícil lograr el empotramiento total de la base, ya que no es fácil predecir el comportamiento del suelo de cimentación y su efecto en la restricción de la base, por lo que es aconsejable suponer una base articulada, obteniéndose así un diseño más seguro. En la figura 12, se puede observar el esquema del muro con base articulada, así mismo, en la figura 13 se observa la tensión anular que se genera en la pared del muro con base fija y base articulada.

Figura 12. Muro con base articulada y libre de cobertura.

Fuente: (Gogate & Domel, 1993, pág. 8). PCA.

Figura 13: Tensión anular para el muro de tanque con base articulada y libre de cobertura

Fuente: (Gogate & Domel, 1993, pág. 8). PCA.

Como se puede observar en la figura 13, la tensión anular para el muro con base articulado es mayor, por ello, se sugiere realizar el diseño realizando la suposición de una base articulada.

Por otro lado, en la figura 14 se observa el grafico del momento de manera referencial que se genera en el muro con base fija y articulada.

Figura 14: Momentos en el muro con base articulada y libre de cubierta – carga triangular.

Fuente: (Gogate & Domel, 1993, pág. 9). PCA.

2.2.2 Fuerzas Hidrodinámicas

El cálculo de las fuerzas hidrodinámicas se realizó a partir de las ecuaciones propuestas por Hausner en 1963 adecuadas de un anterior modelo de 1954. Donde se considera una parte de la masa de agua contenida en el reservorio como fija impregnada rígidamente a las paredes en el cual es confinado y se ubica en la parte inferior, esta masa es conocida como la Masa Impulsiva (W_i). Por otro lado, la masa complementaria ubicada en la parte superior al no estar confinada, ya que, se tiene el borde libre oscila durante un evento sísmico generándose un oleaje. A esta masa se la conoce como la Masa Convectiva (W_c) (Carrión & Corpus, 2015). El esquema del depósito se muestra en la figura 15.

Figura 15. Modelo para un depósito sujeto a la acción sísmica.

Fuente: (Pavón, 2001, pág. 53)

Donde:

W_L = Peso del líquido del depósito

W_i = Peso de la masa impulsiva M_I

W_c = Peso de la masa convectiva M_c

R = Radio del depósito cilíndrico

H_L = Altura del tirante líquido

H_I = Altura sobre el fondo del depósito a la cual se considera se encuentra la masa impulsiva

H_C = Altura sobre el fondo del depósito a la cual se considera se encuentra la masa convectiva.

H_M = Altura de la pared del depósito.

K_C = Rigidez del resorte al cual está unida la masa convectiva.

Las ecuaciones utilizadas para el reservorio circular son los siguientes:

a. Masa Impulsiva

Para deposito donde $H_L \leq 0.75D$, donde H_L es el tirante líquido y D el diámetro del depósito.

$$W_I = \frac{\tanh(0.85 \frac{D}{H_L})}{0.85 \frac{D}{H_L}} W_L$$

b. Masa convectiva

$$W_C = \frac{0.71 \tanh(3.68 \frac{H_L}{D})}{3.68 \frac{H_L}{D}} W_L$$

c. La altura de la masa impulsiva sobre el fondo del depósito

$$H_I = \frac{3}{8} H_L \left\{ 1 + \alpha \left(\frac{W_L}{W_I} - 1 \right) \right\}$$

d. La altura de la masa convectiva sobre el fondo del depósito

$$H_C = H_L \left\{ 1 - 0.0525 \frac{W_L}{W_I} \left(\frac{D}{H_L} \right)^2 + 0.275 \beta \frac{D}{H_L} \sqrt{0.0375 \left(\frac{D W_L}{H_L W_C} \right)^2} \right\}$$

e. Rigidez del resorte de la masa convectiva

$$K_C = \frac{19 H_L}{H_L} \left(\frac{W_C}{D} \right)^2$$

Donde $\alpha = 1.3$ y $\beta = 2.0$, si se requiere realizar el cálculo del momento hidrodinámico en el fondo del depósito o si solo que requiere los efectos de la presión hidrodinámica que actúa en los muros $\alpha = 0$ y $\beta = 1$ (Pavón, 2001).

En la figura 16, se observa el esquema de la oscilación que se produce en el reservorio con el movimiento sísmico, asimismo, se aprecia la amplitud máxima del movimiento vertical de la superficie del agua respecto al agua en reposo.

Figura 16. Oscilación del fluido en el reservorio y modelo dinámico.

Fuente: (Diaz & Meniz, 2019, pág. 18)

La amplitud máxima del movimiento vertical para tanques circulares según (Pavón, 2001), se puede calcular utilizando las siguientes expresiones:

$$d_{max} = \frac{0.204 D \coth\left(3.68 \frac{H_L}{D}\right)}{\frac{g}{\omega_c^2 \Theta_h D} - 1}$$

Donde:

$$\Theta_h = 3.07 \frac{A_c}{D} \tanh\left(3.68 \frac{H_L}{D}\right)$$

Asimismo, A_c que es el máximo desplazamiento de la masa convectiva con relación a los muros del reservorio y se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$A_c = \frac{S_v}{\omega_c}$$

Además, Θ_h es la amplitud angular de las oscilaciones libres del líquido, suponiendo que la superficie del líquido es plana, S_v es la pseudo velocidad o velocidad espectral y ω_c es la frecuencia angular circular de la masa convectiva y es calculada mediante la siguiente expresión.

$$\omega_c = \sqrt{\frac{g K_c}{W_c}}$$

2.3 REFUERZOS EN CONCRETO ARMADO

Desde el principio del siglo XX hasta los años ochenta (finales del siglo XX), el hormigón que se ha utilizado ha sido un material muy similar en todas partes. Si bien, existían diferencias de dosificación con pequeñas variantes, pero las propiedades intrínsecas del hormigón puesto en obra eran muy cercanas y sobre todo muy constantes. En la actualidad el hormigón es un material con sus propiedades gobernables, puede decirse que programables. Es decir, se puede actuar sobre cuatro parámetros que conforman la familia de las cualidades de un hormigón: la consistencia y la trabajabilidad, la durabilidad, sus propiedades mecánicas y finalmente su aspecto exterior (Romea, 2014).

Figura 17. Evolución de los materiales de ingeniería e importancia relativa.

Fuente: (Asbby, 2005, pág. 5)

Entre las nuevas tendencias del concreto armado que se vienen desarrollando, se debe mencionar al concreto armado con fibras por sus altas cualidades, las cuales, son diversas como por ejemplo metálicas, de polipropileno, fibra de vidrio entre otras. Las fibras al igual que el hormigón armado tradicional tienen por objeto controlar la

fisuración. Sin embargo, una de las diferencias con la armadura tradicional según (Romea, 2014), es que, se coloca antes del hormigonado. Es decir, las fibras se incorporan mezcladas con el propio hormigón formando un nuevo material.

Por otro lado, las características técnicas del nuevo concreto armado con fibras vendrán dadas por la orientación de las fibras, lo cual confiere al material de características resistentes diferentes según la orientación del refuerzo. En la figura 18 se puede observar como el cambio de orientación influye en la resistencia a la tensión del material compuesto.

Figura 18. Resistencia a la tensión según la orientación de la fibra. (b) alineación de fibras para conseguir un material compuesto casi isotrópico.

Fuente. (Askeland & Phulé, 2004, pág. 737)

Las estructuras de concreto armado se ven afectas por el tiempo en si, por lo que, sus propiedades disminuyen por motivos físicos, químicos y mecánicos. Según Escrig, 2014, los efectos como la fatiga, fisuración del hormigón y la alta probabilidad de ataque químico, la corrosión de las armaduras, los asentamientos o

los impactos provocan la degradación de este tipo de estructuras y disminuyen su capacidad de resistencia.

Según el artículo de investigación de (Escrig, Estudio del comportamiento mecánico de vigas de hormigón armado reforzados a flexión y a cortante con materiales compuestos de matriz cementicia, 2015), la configuración interna del Textile Reinforced Mortar (TRM), tiene sus orígenes en el ferrocemento, el cual fue impulsado después de la Segunda Guerra Mundial por la industria naval en la construcción de barcos. Este material compuesto, consiste en una matriz de cemento reforzada internamente por mallas metálicas electrosoldadas (conocidas también como malla de gallinero), las cuales tienen como objetivo principal ofrecer resistencia a tracción al elemento estructural.

Posteriormente, el desarrollo tecnológico permitió sustituir las mallas electrosoldadas por tejidos de fibras, las cuales tienen una mayor resistencia a la tracción que el acero. Este hecho, permitió desarrollar la construcción de elementos estructurales de paredes delgadas formados por fibras continuas y matrices cementílicas. El TRM tiene una configuración similar, la cual fue diseñada para actuar como refuerzo externo de elementos estructurales con el propósito de incrementar su resistencia a tracción. Sin embargo, su evolución se centró en el desarrollo industrial de productos (morteros y tejidos) válidos para aplicar en elementos de mampostería (Escrig, C. 2015).

En cuanto a la rehabilitación con *Textile Reinforced Mortar* es necesario precisar los siguientes conceptos:

Según Escrig en su tesis “Estudio del comportamiento mecánico de vigas de hormigón armado reforzadas a flexión y a cortante con materiales compuestos de matriz cementílica” sustenta que el sistema de refuerzo con TRM, consiste en incrementar la capacidad de resistencia a la tracción de las estructuras de concreto.

Para que pueda desarrollarse correctamente este refuerzo Escrig propone que es necesario que el tipo de malla a usar sea químicamente compatible con el mortero,

para lograr esta compatibilidad es necesario la impregnación de la fibra en el mortero. Además, Escrig propone el uso de aditivos y microfibras para que el mortero tenga la capacidad de transmitir las cargas entre el elemento estructural y la malla. Por otra parte, el refuerzo con TRM se puede adaptar a estructuras con superficies no habituales, es decir, superficies curvas, ya que las mallas en su mayoría son flexibles.

Como desventajas el sistema TRM, Escrig afirma que en el TRM la matriz (mortero) es más frágil que el tejido, por lo que conlleva a que el mortero se fisure antes de que la malla llegue a su capacidad máxima a tracción, obteniendo así un comportamiento no lineal.

Según Escrig en su tesis “Estudio del comportamiento mecánico de vigas de hormigón armado reforzadas a flexión y a cortante con materiales compuestos de matriz cementítica” define al TRM como un sistema de mortero y una malla que puede ser de diferente tipo de fibra. Para garantizar que la matriz de mortero logre penetrar y humedecer las fibras, estas se agrupan en mechones flexibles y se distribuyen en forma de malla unidireccional o bidireccional formando una estructura tipo tejido. Esta configuración de las fibras, conjuntamente con la matriz de mortero, dio lugar a lo que se conoce como Textile-Reinforced Mortar (TRM).

2.3.1 Alternativas de solución

Las estrategias para reforzar una estructura de concreto armado pueden realizarse mediante la incorporación de un nuevo sistema estructural, las soluciones o intervenciones específicas para las patologías concretas y el refuerzo del sistema estructural existente con el incremento de la sección transversal y/o la adición de nuevos materiales de refuerzo (Escrig, 2014).

El incremento de la sección transversal o la adición de nuevos materiales reforzantes permiten aumentar la resistencia para la cual la estructura había sido diseñada inicialmente. Las técnicas para reforzar e incrementar la resistencia de una estructura de concreto armado que según Escrig, 2014, pueden resumirse a los siguientes casos, cuya aplicación se realiza actualmente.

- (a) Ampliación de la sección transversal o aumento del número de estribos.
- (b) Refuerzo con placas de acero pegadas o atornilladas.
- (c) Refuerzo con tirantes de acero postensados.
- (d) Refuerzo con materiales compuestos de matriz orgánica (FRP).

La introducción de los materiales compuestos supuso una revolución en las técnicas de refuerzo de estructuras de concreto armado por su versatilidad y la facilidad de aplicación. Su uso de acuerdo a Escrig, 2014 inicio a finales de la década de 1980 expandiéndose en el sector de la construcción y la infraestructura.

El material de mayor realce para la rehabilitación son los polímeros reforzados con fibra o FRP de sus siglas en ingles. El cual, es un material compuesto que tiene una matriz orgánica (polímero) generalmente resinas epoxi reforzadas con fibras. Las fibras de refuerzo pueden ser de distintos materiales, pero las más utilizadas a lo largo del tiempo son las de vidrio, carbón, basalto o aramida.

A pesar que el uso del FRP es un gran avance en el refuerzo de estructuras de concreto armado, a lo largo del tiempo se ha detectado inconvenientes debido al uso de resinas y en la fijación del refuerzo al sustrato. Entre las desventajas que se observan del FRP según Escrig, 2014 son.

- Mal comportamiento de las resinas epoxi a temperaturas por encima de la temperatura de transición vítrea.
- El alto coste relativo de las resinas.
- La imposibilidad de aplicar el FRP sobre superficies húmedas o a baja temperatura.
- Ausencia de permeabilidad del vapor de agua.
- Incompatibilidad de los adhesivos y matrices orgánicas del refuerzo con los sustratos inorgánicos.
- Dificultad de la evaluación de los daños post-sísmicos de las estructuras de hormigón armado reforzadas con mantas de FRP sin daños aparentes.

- Riesgo a la salud de los instaladores del refuerzo debido a los productos tóxicos que contienen las resinas.

Para la mejora del material compuesto que minimice los inconvenientes que se presenta con el FRP se propuso cambiar la matriz de orgánica de resina a una matriz inorgánica de mortero con base cementítica. Este cambio ha demostrado a través de diversas investigaciones mejores resultados en aspectos como la penetración e impregnación de las fibras en productos de refuerzo tipo lamina con alta densidad (Escrig, 2014). La configuración de fibras (unidireccional o bidireccional) en conjunto con la matriz de mortero, dio lugar al *Textile Reinforced Mortar* (TRM).

Figura 19. Esquema de configuración del TRM, matriz, refuerzo y producto acabado.

Fuente: (Escrig, Refuerzo a cortante de vigas de hormigón armado mediante TRM, 2014)

Al ser el TRM un material compuesto por una malla tejida de fibra embebida en una matriz inorgánica de mortero y que la malla que puede ser de diferentes materiales como fibra de vidrio, carbón, basalto, fibras vegetales o alambres de acero semejante al ferrocemento. Es importante recalcar que el TRM aporta resistencia a la tracción debido a las fibras de la malla y estas fibras soportan las cargas que el mortero transmite.

La malla de refuerzo debe cumplir con un requisito importante que es la perfecta adherencia con el mortero de la matriz del TRM. Esta adherencia se consigue mediante la compatibilidad química y la geometría de la malla, es decir, por el anclaje mecánico derivado del mortero que pasa entre la trama y la urdimbre de la malla. Ya que, la transmisión de esfuerzos mortero – malla es el principal

requisito, además, que la malla sea químicamente estable cuando esta embebido en la matriz inorgánica para asegurar la durabilidad (Bernat, 2014).

Por otro lado, entre los morteros más comunes para la matriz están los morteros de base cementítica como el Portland, los morteros de cal y los de puzolana. La matriz, permite realizar la conexión entre el material sustrato (material a reforzar) y la malla. Asimismo, protege a la fibra de las condiciones externas o intemperismo. Además, se cuenta con múltiples aditivos químicos que mejoran la trabajabilidad y afinidad química con la malla.

2.3.2 Alternativa seleccionada

De acuerdo a Escrig, 2015, las mallas de TRM pueden estar constituidas por distintos materiales. Actualmente, se pueden encontrar en el mercado mallas de fibras de vidrio, fibras de carbono, fibras de basalto, fibras de Poliparafenil Benzobisoxazol (PBO) o alambres de acero, así como fibras vegetales u otros polímeros sintetizados. La mayoría de estas fibras presentan un comportamiento elástico lineal hasta su rotura, tal y como se puede observar en la figura 20.

Figura 20. Relación tensión-deformación de los diferentes tipos de fibra utilizados en los tejidos de TRM.

Fuente: Escrig, 2015

En la presente tesis, la alternativa de refuerzo para la rehabilitación con TRM será la malla de fibra de vidrio embebida en una matriz cementítica, este tipo de tejido ha sido diseñado como refuerzo externo de estructuras de mampostería y concreto ofreciendo una mayor ductilidad y un reparto más uniforme de las solicitaciones en los especímenes. Presenta una óptima resistencia a tracción, así como una inalterabilidad a las agresiones químicas y a los agentes atmosféricos. Algunas características de la fibra de vidrio se mencionan a continuación.

- La fibra de vidrio tiene un mejor comportamiento con respecto a la ductilidad en comparación con todos los materiales antes mencionados (acero, carbono, PBO, aramida, basalto), estos materiales presentan una reducción de la ductilidad hasta en un 85%, por lo cual no los hace una alternativa factible.
- La empresa Sika cuenta con una malla hecha de fibra de vidrio, lista para poder adquirirla y no mandarla a fabricar, lo que la hace una alternativa económicamente factible.
- La fibra de vidrio tiene una resistencia a la tracción superior a la del acero grado 40 (420MPa).

2.4 ENSAYOS DE PROPIEDADES MECÁNICAS

2.4.1 Ensayo de Tracción Directa (Uniaxial):

En el reservorio, el fluido que está contenido en el depósito ejerce fuerzas de tracción (F) sobre la pared del tanque, tal como se muestra en la figura 21. Estas fuerzas, deben ser absorbidas por el acero de refuerzo y la malla de fibra de vidrio. Por esta razón, el único ensayo a realizar para el refuerzo a utilizar (sistema TRM utilizando fibra de vidrio) es un ensayo de tracción pura.

Figura 21. Fuerzas de tracción generadas por la presión del agua.

Fuente: Nieto y Zhañay 2011

De acuerdo a la guía de diseño ACI 549.4R-13, se realiza ensayos de tracción directa hasta la rotura de los especímenes, con el objetivo de obtener las propiedades mecánicas según la curva tensión-deformación ideal de un espécimen de TRM.

Las propiedades mecánicas que definen el comportamiento del material compuesto tienen características diferenciadas, según si la matriz cementicia está fisurada o sin fisurar. Todas ellas se presentan a continuación.

- Tensión y deformación en el punto de transición en el momento de la aparición de la primera fisura (f_{ft} y ϵ_{ft} , respectivamente).
- Resistencia última a tracción (f_{fu}).
- Deformación última (ϵ_{fu}).
- Módulo de elasticidad longitudinal del espécimen sin fisurar (E_f^*).
- Módulo de elasticidad longitudinal del espécimen fisurado (E_f).

El ensayo de tracción directa para el TRM no se encuentra normalizado debido a que existen muchos factores que dificultan su realización. Factores como la fragilidad del concreto, influyen mucho en la forma de falla de la probeta; mientras que, la interacción cabezal/probeta suele generar esfuerzos concentrados en el espécimen.

Para determinar la curva tensión-deformación y obtener la resistencia a la tracción del TRM, se someterá a los especímenes a un ensayo de tracción. Donde las probetas serán fijadas a mordazas de apriete mecánico y la aplicación de la carga se ejecutará de forma contralada con un desplazamiento a una velocidad de 0,5 mm/min con una prensa de ensayos electromecánica de 10kN (1T) de capacidad de carga. Asimismo, durante el ensayo se registraron las deformaciones en el centro de los especímenes mediante una galga extensométrica previamente instalada.

Figura 22. Montaje para el ensayo de tracción de probetas TRM.

Fuente: (Escrig, Estudio del comportamiento mecánico de vigas de hormigon armado reforzados a flexión y a cortante con materiales compuestos de matriz cementicia, 2015, pág. 242)

Figura 23. Curva tensión-deformación ideal de un espécimen de TRM sometido a tracción.

Fuente: (Escrig, Estudio del comportamiento mecánico de vigas de hormigón armado reforzadas a flexión y a cortante con materiales compuestos de matriz cementicia, 2015, pág. 237)

2.4.2 Determinación de la resistencia a tracción del TRM

Según Escrig (2015), la resistencia última a tracción del TRM (f_{fu}) se obtuvo suponiendo una distribución uniforme de tensiones en el tejido resistente en el momento de carga máxima, de la siguiente manera:

$$f_{fu} = \frac{F_{max}}{d_t t_{tex}}$$

Donde F_{max} es la fuerza máxima aplicada, d_t es el ancho medio de la probeta de TRM y t_{tex} es el espesor equivalente del tejido resistente.

2.5 ENSAYOS DE CONTROL DE CALIDAD

2.5.1 Ensayo de Permeabilidad

Para el ensayo de permeabilidad se deberá utilizar muestras de mortero Sika Rep de forma cilíndrica de diámetro de 100mm y 50mm de altura. Estos cilindros deberán ser aserrados (cortados) de otros cilindros de un diámetro de 100mm y altura de 300mm, los cuales se tendrán que sellar previamente con epoxi antes del corte. Después del corte, el epoxi forma una capa que previene la fuga de agua por los laterales, dejando únicamente la parte superior e inferior no sellada.

Los cilindros de diámetro de 100mm y de 50mm de altura deberán ser colocados en celdas diseñadas especialmente al efecto del método de ensayo. Una de las superficies del hormigón ha sido sometida a la presión del agua. En el presente caso se aplicará una presión de 10 ATM equivalente a 1 MPa.

Cuando el agua bajo presión se aplica en este método, el agua comienza a penetrar en el hormigón y se establece un flujo del agua. El valor de este flujo de agua a través de la muestra de concreto, deja constancia del régimen estable que ha alcanzado. Basado en esta cantidad de agua, se puede determinar el coeficiente de permeabilidad basado en la ecuación de Darcy. La permeabilidad del agua se expresa como el coeficiente de permeabilidad en metros por segundo.

Figura 24. Ensayo de permeabilidad.

Fuente: Ensayo de Laboratorio de hormigón sellado con Controll Inner Seal.

SINTEF Ingeniería Civil y Medioambiental 2008

De acuerdo con Gómez, J. en su tesis “Identificación y Cuantificación de Algunos Factores en la Permeabilidad de Concretos y Morteros” da a conocer que “permeabilidad” hace referencia a la cantidad de migración de agua a través del concreto o mortero cuando el agua se encuentra a presión; de igual forma, se puede definir como la capacidad del concreto de resistir la penetración de agua u otras sustancias (líquido, gas, iones, etc.). Usualmente se determina como el caudal filtrado de agua, de acuerdo con la ley de Darcy:

$$v = K_p \frac{h}{x}$$

Donde, v: razón del flujo del agua y h: cabeza de presión

Figura 25. Permeabilidad vs Relación agua/cemento.

Condiciones de riesgo de deterioro en que se requiere baja permeabilidad del concreto	Relación a/c máxima recomendada	Intervalo de magnitud probable del coeficiente de permeabilidad de la pasta madura, m/s
Según ACI 201:		
Alto riesgo de corrosión del refuerzo	0.40	$7.5 \times 10^{-15} / 2.5 \times 10^{-14}$
Ataque severo por sulfatos y/o mediano riesgo de corrosión del acero de refuerzo.	0.45	$10 \times 10^{-15} / 5 \times 10^{-14}$
Ataque moderado por sulfatos y/o riesgo moderado de corrosión del acero de refuerzo	0.50	$2.5 \times 10^{-14} / 7.5 \times 10^{-14}$
Según ACI 301		
Exposición a la intemperie en lugares de clima frío (por efecto de congelación y deshielo y sales congelantes)	0.53	$5 \times 10^{-14} / 10 \times 10^{-14}$

Fuente: Gómez (2008)

Conforme aumenta el tamaño del agregado, el concreto resulta más permeable, ya que el aumento del tamaño incrementa las condiciones para generar asentamiento y la acumulación de agua filtrada debajo de ellas, además el aumento del tamaño máximo acentúa la diferencia de las magnitud de los cambios volumétricos de origen térmico entre la pasta de cemento y los fragmentos grandes de agregado, generándose micro fisuras alrededor de las gravas grandes que afectan la permeabilidad de las estructuras.

2.5.2 Ensayo de Capilaridad

Este ensayo sirve para determinar la capacidad de succión de la masa de una probeta de mortero Sika Rep. Se realiza en probetas cúbicas 5x5x5cm que hayan alcanzado el curado húmedo de 7 días y consiste en colocar las probetas sobre una bandeja con una altura de agua de 1 cm y luego de 3 horas se saca las probetas, se secan cuidadosamente las caras de las probetas y se pesan, con el fin de obtener la cantidad de agua absorbida.

Por la diferencia de pesos se obtiene la cantidad de agua absorbida, luego medimos el fleco capilar en cm^2 , que es el área humedecida del mortero a partir de 1 cm medido. Para determinar la capilaridad utilizamos la siguiente formula.

$$S = 2(a + b) * h_i ; K = \frac{P * t}{S}$$

a: Ancho promedio de la muestra

b: Profundidad o largo de la muestra

h_i : Altura que alcanza la humedad de la muestra

P: Peso del agua absorbida (gr)

S: Area lateral del fleco capilar (cm^2)

t: Tiempo de exposición con el agua (min)

k: Capilaridad

De acuerdo a Ascate, D., Díaz, B., Rodríguez, S., Peralta, S., Tantaquilla, C. en “Efecto de un aditivo impermeabilizante en la capilaridad de un mortero de cemento/arena en el norte de Perú” sustentan que un mortero al tener propiedades impermeabilizantes (Sika Rep) reduce su capacidad de absorción de agua, debido al aditivo impermeabilizante que impide que el agua pueda transportarse libremente a través de su estructura. El valor de “K” promedio de las muestras no debe exceder el valor de 30.

2.5.3 Prueba de Estanqueidad

De acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-007-CNA-1997, considera como requisitos de seguridad para la construcción y operación de tanques para agua, realizar trabajos preliminares para iniciar con las pruebas de estanqueidad.

- Trabajos preliminares:
- Verificar que los trabajos de sellado de huecos producto del encamisado, se hayan concluido.
- Revisar las reparaciones en general de los elementos en el interior y realizar cualquier reparación que se necesite, como son: reparación de fisuras y oquedades en el concreto.
- Colocar en el exterior del pasamuros tapas con bridas o soldadas o cualquiera otro elemento que no permita la salida del líquido en las pruebas.
- Preparar la colocación de bombas, mangueras para el llenado.
- Limpiar el interior del tanque de escombros, basura y material sedimentado.
- Utilizar agua limpia libre de patógenos o microorganismos de procedencia fecal.
- Los requerimientos de seguridad para la construcción y operación de los tanques de agua, se debe realizar de acuerdo con la norma oficial mexicana NOM-007-CNA1997, se considera que el tanque se debe llenar en 3 fases.
 1. 33 por ciento de la capacidad del tanque
 2. 66 por ciento de la capacidad del tanque
 3. 100 por ciento de la capacidad del tanque

Si en algunas de estas fases, se observa una fuga por una fisura no estructural, se tendrá que proceder a realizar la reparación y volver a realizar el llenado del tanque, para la última fase de llenado, la cual corresponde al tanque lleno, se tendrá que dejar por un periodo de 24 horas y verificar si no existe alguna fuga, si cumple esta condición, se da por aprobada la prueba.

2.5.4 Prueba de Adherencia

Una vez terminado el proceso constructivo, se aplica golpes en la superficie terminada (seca), solo para comprobar la dureza, el ensayo propiamente dicho tiene las siguientes características:

- Se tiene que realizar luego de 28 días debido a que en este tiempo el TRM alcanza su máxima resistencia.
- Consiste en hacer 3 pequeñas perforaciones sobre la superficie terminada y se introduce unos tubos en las perforaciones y se procede a colocar la máquina sobre los 3 tubos y se mide la resistencia

Este ensayo tiene como finalidad:

- Evaluar la resistencia de unión entre el refuerzo y mortero.

2.6 FISURAS NO ESTRUCTURALES Y ESTRUCTURALES

Según Alario E. en su libro “Fisuras no estructurales en elementos de hormigón” define a la fisura o grieta estructural como aquella que es originada por causas mecánicas o de esfuerzos de la propia estructura, como acciones de compresión o tracción, flexión, cortante, torsión o punzonamiento.

Por otro lado, las fisuras no estructurales son aquellas originadas por las siguientes causas:

- En el diseño no se realizó el control de agrietamiento
- No hubo una supervisión adecuada del proceso constructivo
- Error en los planos de ejecución

3 CAPITULO II: MATERIAL Y MÉTODO

3.1 MATERIAL

Reservorios de agua apoyados

3.2 POBLACIÓN

La población para la investigación, correspondió a reservorios circulares apoyados de Sedapal del distrito de Villa María del Triunfo. La población consta de 13 reservorios circulares apoyados de capacidades desde los 100 m³ a 1400 m³.

Figura 26. Plano de ubicación del área de estudio.

Fuente: SEDAPAL 2008

3.3 MUESTRA

De acuerdo a la categorización las muestras pueden ser probabilísticas y no probabilísticas. En las muestras probabilística, todos los elementos de la población tienen la misma posibilidad de ser escogidos para la muestra y esta puede ser por medio de una selección aleatoria o mecánica de las unidades de muestreo (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014). En las muestras no probabilísticas, la elección de la muestra está relacionada a las características de la investigación o los propósitos de la investigación, la elección de la muestra obedece a los criterios de la investigación.

Por ello, para esta investigación se seleccionó la muestra de forma no probabilística o dirigida al reservorio R-6A, porque se consideró que este reservorio representa las características de los 13 reservorios de evaluados. Además, se cuenta con la información básica del reservorio para realizar el análisis y realizar la propuesta de rehabilitación.

3.4 MÉTODO

3.4.1 Nivel de Investigación

La presente tesis se realizó a nivel de investigación exploratoria, ya que estudiará cómo se comporta estructuralmente una superficie curva con fisuras no estructurales rehabilitada con *Textile Reinforced Mortar*. Este material, se define como una versión mejorada del FRP, el cual ya fue descrito en los antecedentes. Sin embargo, el TRM aún se encuentra en fase de investigación y no existen normas que respalden su uso. La presente investigación será aplicada para rehabilitar un muro cilíndrico de a un reservorio apoyada de agua de SEDAPAL con presencia de fisuras no estructurales.

3.4.2 Diseño de Investigación

La estrategia para demostrar la hipótesis planteada fue de campo, ya que se realizó una inspección de todos los reservorios de la data obtenida de SEDAPAL correspondientes al distrito de Villa María del Triunfo. Luego, se eligió un reservorio apoyado con fallas, del cual se realizó su diagnóstico estructural. No obstante, el reservorio elegido para la evaluación (R6-A) fue construido hace más

de 30 años, por lo que en la información obtenida se indica que no se tiene los planos y las especificaciones técnicas. Por esta razón, para poder evaluar su comportamiento estructural actual y determinar si la falla fue en la etapa de proyecto, surge la necesidad de realizar un levantamiento estructural y rediseñar el reservorio con las normas actuales. Finalmente, una vez obtenida las características de la falla, se propondrá la rehabilitación de la estructura usando *Textil Reinforced Mortar*.

3.5 Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

Técnicas

Solicitudes:

- Obtención de información de reservorios de agua de SEDAPAL del distrito de Villa María del Triunfo
- Obtención de datos del lugar donde se encuentran los reservorios
- Obtención de información del TRM de la empresa SIKA

Inspección visual:

- Selección de un reservorio apoyado con fallas
- Evaluación de todos los reservorios de la data obtenida de SEDAPAL correspondientes al distrito de Villa María del Triunfo

Mediciones

- Levantamiento de medidas del reservorio seleccionado

Ensayos:

- Levantamiento estructural
- Resistencia a tracción de probetas de TRM

Diseños

- Diseño estructural del reservorio seleccionado
- Diagnóstico estructural

Dibujo

- Plano de reservorio rehabilitado con TRM

Instrumentos

- Instrumento para solicitud de información: Formato de carta de solicitud de información

Monterrico, 09 de Marzo del 2017

Señores
Maribell Morales
Superintendente de prefabricados de UNICON
Presente.-

Estimados señores:

Por medio de la presente me es grato saludarlo y a la vez presentarle al alumno Juan Barrientos Huaypar con cód. U201120453 y a la alumna Elizabeth Paucar Gutierrez con cód. U201020516 pertenecientes al 9mo. Ciclo de la Carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería.

Así mismo, indicamos que los señores son autores de la investigación titulada "La problemática económica y técnica del concreto premezclado y su relación resistencia, tiempo de vaciado y aditivos en las empresas concreteras nacionales UNICON y MIXERCON "

La Dirección de Ingeniería Civil respalda la autenticidad del trabajo mencionado.

Sin otra oportunidad, le agradezco anticipadamente por su atención a la presente.

Atentamente,

Román Arciniega A.
Director de la Carrera de Ingeniería Civil

Figura 27. Formato de carta de solicitud de información.

Fuente: UPC 2017

- Instrumento para inspección visual: Formato de reporte de visita

NOMBRE DEL RESERVORIO			
FOTOS		Ubicación:	
		Antigüedad:	
		Volumen:	
		Diámetro interior:	
		Tirante de agua:	
		Espesor del muro cilíndrico:	
		Techo tipo cúpula, espesor:	
		Losa de fondo del reservorio, espesor:	
		Concreto:	
		Acero:	
Foto 1: Fuente propia		Estado actual:	
EVALUACION ESTRUCTURAL DEL RESERVORIO (INSPECCION VISUAL)			
MURO CILINDRICO	Resultado de inspección		
CUPULA	Resultado de inspección		

Figura 28. Ficha de reporte de visita.

Fuente: Propia 2018

- Instrumento de medición: Wincha de 50.0m
- Instrumentos para ensayos: Esclerómetro
- Instrumento para diseños: Formato “Excel” de diseño de reservorios realizado según *Portland Cement Association “Circular, Concrete Tanks Without Prestressing”*
- Instrumento para dibujo: AutoCAD 2017
- Instrumento para ensayos: Laboratorio SERINCO Colombia

4 CAPITULO III: OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN DE RESERVORIOS Y SELECCIÓN DE RESERVORIO DE ESTUDIO

4.1 Información de reservorios de agua de SEDAPAL

La data de reservorios del distrito de Villa María del Triunfo pertenecientes a Sedapal, fue proporcionada por la empresa Grupo PEYCO. La información alcanzada correspondió al perfil del proyecto para la ampliación y mejoramiento de los Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado de los Sectores 311, 313, 330, 310, 312, 314, 300, 307, 319, 324, y 301 Nueva Rinconada – Distritos de San Juan de Miraflores, Villa María del Triunfo y Villa el Salvador – Etapa 1.

De la información de los reservorios en el distrito de Villa María del Triunfo se tiene lo siguiente:

- Memoria descriptiva que contiene la evaluación, diagnostico estructural y las verificaciones analíticas computarizadas (modelamiento) de las estructuras existentes que forman parte del proyecto.
- Planos de ubicación de los reservorios
- Para determinar el grado de deterioro de las estructuras, se obtuvieron las muestras y posteriormente se analizaron en el laboratorio de LEM-UNI. Los resultados obtenidos correspondieron a las pruebas de análisis de carbonatación del concreto, resistencia a la compresión de las muestras extraídas con diamantina y el descubrimiento de la distribución de armaduras de los reservorios.

Los reservorios por su antigüedad no cuentan con los planos con los cuales fueron contruidos, por lo que, se elaboró el plano del reservorio con los datos obtenidos en el levantamiento de información de campo. Información que fue utilizado posteriormente para la evaluación estructural y diagnóstico del reservorio, para ello, era necesario conocer principalmente la resistencia del concreto, la distribución y características del acero de refuerzo. Es por ello, que para verificar la resistencia del concreto se utilizó un esclerómetro y para determinar la cantidad y posición del acero de refuerzo, se realizó el picado y corte de recubrimiento.

De esta manera, con la información anterior se elaboró el rediseño estructural del reservorio, el cual se hizo respetando las siguientes normas.

- Norma E060-2009 “Concreto Armado”
- Norma E030-2009 “Diseño Sismoresistente”
- Norma E020-2009 “Cargas”
- American Concrete Institute – 3180 “American Concrete Institute – Concreto Estructural”
- American Concrete Institute – 350 03.-06 “American Concrete Institute – Estructuras Hidráulicas”
- Portland Cement Association - Circular Concrete Tanks Without Prestressing

4.2 INSPECCIÓN DE RESERVORIOS EN EL DISTRITO DE VILLA MARÍA DEL TRIUNFO

Para la investigación se realizó la inspección de forma visual de trece reservorios de agua apoyados de SEDAPAL en el distrito de Villa María del Triunfo. Los datos de los reservorios intervenidos por sector y capacidad de almacenamiento se muestran en la tabla 2. Asimismo, en la figura 29 se muestra el plano de ubicación del área de estudio en Villa María del Triunfo con los sectores mencionados en la tabla anterior

Tabla 2. Resumen de reservorios existentes.

RESERVORIOS EXISTENTES			
DISTRITO	SECTOR	RESERVORIOS EXISTENTES	CAPACIDAD ACTUAL
VILLA MARÍA DEL TRIUNFO	310	R-4	1400.00 m ³
		3-A	1200.00 m ³
		R-15	500.00 m ³
	312	R-5	1200.00 m ³
		R-17	500.00 m ³
		R-16	800.00 m ³
		R-6	1200.00 m ³
	314	R7-A	100.00 m ³
	313	RP-2A	100.00 m ³
		R-8	1200.00 m ³
		R-2	1000.00 m ³
		R-1	1000.00 m ³
		R-6A	750.00 m ³

Fuente: Elaboración propia 2018

Figura 29. Plano de ubicación por sectores.

Fuente: SEDAPAL 2018

La evaluación de los reservorios se realizó mediante las fichas de inspección, los resultados se muestran por cada sector de la zona de estudio en las siguientes figuras.

4.2.1 Reservorios en el Sector 310

- Reservorio apoyado existente R-4

RESERVORIO APOYADO EXISTENTE R-4 1400.00 m3
Antigüedad	40 años
	Volumen	1400.00 m3
	Diámetro interior	17.80 m
	Tirante de agua	5.30 m
	Espesor del muro cilíndrico	0.30 m
	Techo tipo cúpula, espesor	0.07 m
	Losa de fondo del reservorio, espesor	0.20 m
	Concreto	f'c=210.00 kg/cm2
	Acero	fy=2800.00 kg/cm2
	Estado actual	Operativo
ESTADO ACTUAL DEL RESERVORIO (INSPECCION VISUAL)		
MURO CILINDRICO	El recubrimiento de la armadura esta ligeramente deteriorado alrededor del reservorio desde la base hasta una altura de 1.50 m.	
CUPULA	Se aprecia suciedad en el exterior, pero sin deficiencias.	

Figura 30. Ficha de reporte de visita reservorio R-4.

Fuente: Propia

- Reservorio apoyado existente 3-A

RESERVORIO APOYADO EXISTENTE 3-A 1200.00 m3
Antigüedad	40 años
	Volumen	1400.00 m3
	Diámetro interior	17.80 m
	Tirante de agua	5.30 m
	Espesor del muro cilíndrico	0.30 m
	Techo tipo cúpula, espesor	0.07 m
	Losa de fondo del reservorio, espesor	0.20 m
	Concreto	$f'c=210.00 \text{ kg/cm}^2$
	Acero	$f_y=2800.00 \text{ kg/cm}^2$
Estado actual		Operativo
ESTADO ACTUAL DEL RESERVORIO (INSPECCION VISUAL)		
MURO CILINDRICO	En buen estado estructural	
CUPULA	Se aprecia fisuramiento entre la unión de la viga circular y la cúpula.	

Figura 30. Ficha de reporte de visita 3-A.

Fuente: Propia

- Reservorio apoyado R-15

RESERVORIO APOYADO EXISTENTE R-15 500.00 m3
Antigüedad
	25años
	Volumen
	500.00 m3
	Diámetro interior
	10.60 m3
	Tirante de agua
	6.30 m
	Espesor del muro cilíndrico
	0.30 m
	Techo tipo cúpula, espesor
	0.07 m
	Losa de fondo del reservorio, espesor
	0.20 m
	Concreto
	f'c=210.00 kg/cm2
	Acero
	fy=2800.00 kg/cm2
	Estado actual
	Inoperativo
ESTADO ACTUAL DEL RESERVORIO (INSPECCION VISUAL)	
MURO CILINDRICO	En buen estado estructural
CUPULA	Presenta concreto deteriorado

Figura 32. Ficha de reporte de visita R-15.

Fuente: Propia

4.2.2 Reservorios en el Sector 312

- Reservorio apoyado R-5

RESERVORIO APOYADO EXISTENTE R-5 1200.00 m3
Antigüedad	30 años
	Volumen	1200.00 m3
	Diámetro interior	15.88 m
	Tirante de agua	5.85 m
	Espesor del muro cilíndrico	0.30 m
	Techo tipo cúpula, espesor	0.07 m
	Losa de fondo del reservorio, espesor	0.20 m
	Concreto	f'c=210.00 kg/cm2
	Acero	fy=2800.00 kg/cm2
	Estado actual	Operativo

ESTADO ACTUAL DEL RESERVORIO (INSPECCION VISUAL)		
MURO CILINDRICO	En zonas puntuales del muro se aprecia filtraciones de agua	
CUPULA	En la zona de la tapa de ingreso al interior del reservorio la armadura se encuentra sin recubrimiento en un área aproximada de 1.20 x 1.20 m.	

Figura 33. Ficha de reporte de visita R-5.

Fuente: Propia

- Reservorio apoyado R-17

RESERVORIO APOYADO EXISTENTE R-17 500.00 m3
Antigüedad	25 años
	Volumen	500.00 m3
Diámetro interior	10.70 m
	Tirante de agua	6.20 m
Espesor del muro cilíndrico	0.25 m
	Techo tipo cúpula, espesor	0.07 m
	Losa de fondo del reservorio, espesor	0.20 m
	Concreto	f'c=210.00 kg/cm2
	Acero	fy=2800.00 kg/cm2
	Estado actual	Operativo
ESTADO ACTUAL DEL RESERVORIO (INSPECCION VISUAL)		
MURO CILINDRICO	El recubrimiento de la armadura esta ligeramente deteriorado alrededor del reservorio desde la base hasta una altura de 1.60 m.	
CUPULA	En buen estado estructural	

Figura 34. Ficha de reporte de visita R-17.

Fuente: Propia

- Reservorio apoyado R-16

RESERVORIO APOYADO EXISTENTE R-16 800.00 m3
Antigüedad	40 años
	Volumen	800.00 m3
Diámetro interior	9.75 m
	Tirante de agua	6.50 m
	Espesor del muro cilíndrico	0.32 m
	Techo tipo cúpula, espesor	0.07 m
	Losa de fondo del reservorio, espesor	0.20 m
	Concreto	f'c=210.00 kg/cm2
	Acero	fy=2800.00 kg/cm2
	Estado actual	Operativo
ESTADO ACTUAL DEL RESERVORIO (INSPECCION VISUAL)		
MURO CILINDRICO	En buen estado estructural	
CUPULA	En buen estado estructural, de material asbesto-cemento	

Figura 35. Ficha de reporte de visita R-16.

Fuente: Propia

- Reservorio apoyado R-6

RESERVORIO APOYADO EXISTENTE R-6 1200.00 m ³
Antigüedad	30 años
	Volumen	1200.00 m ³
	Diámetro interior	16.40 m
	Tirante de agua	5.80 m
	Espesor del muro cilíndrico	0.30 m
	Techo tipo cúpula, espesor	0.07 m
	Losa de fondo del reservorio, espesor	0.20 m
	Concreto	$f'_c=210.00 \text{ kg/cm}^2$
	Acero	$f_y=2800.00 \text{ kg/cm}^2$
ESTADO ACTUAL DEL RESERVORIO (INSPECCION VISUAL)		
MURO CILINDRICO	El recubrimiento de la armadura esta ligeramente deteriorado alrededor del reservorio desde la base hasta una altura de 1.80 m.	
CUPULA	En buen estado estructural	

Figura 36. Ficha de reporte de visita R-6.

Fuente: Propia

4.2.3 Reservorios en el Sector 314

- Reservorio apoyado R-7A

RESERVORIO APOYADO EXISTENTE R-7A 100.00 m ³
Antigüedad	15 años
	Volumen	100.00 m ³
	Diámetro interior	6.45 m
	Tirante de agua	3.10 m
	Espesor del muro cilíndrico	0.20 m
	Techo tipo cúpula, espesor	0.07 m
	Losa de fondo del reservorio, espesor	0.20 m
	Concreto	$f'_c=210.00 \text{ kg/cm}^2$
	Acero	$f_y=2800.00 \text{ kg/cm}^2$
ESTADO ACTUAL DEL RESERVORIO (INSPECCION VISUAL)		
MURO CILINDRICO	Se evidencia filtración de agua a 0.10 m desde el nivel de la zapata circular y a 1.20m del nivel superior de la zapata circular se encuentra sin recubrimiento y en proceso de corrosión	
CUPULA	En buen estado estructural, de material asbesto-cemento	

Figura 31. Ficha de reporte de visita R-7A.

Fuente: Propia

4.2.4 Reservorios en el Sector 313

- Reservorio apoyado RP-2A

RESERVORIO APOYADO EXISTENTE RP-2A 100.00 m3
Antigüedad	30 años
	Volumen	100.00 m3
	Diámetro interior	7.25 m
	Tirante de agua	2.20 m
	Espesor del muro cilíndrico	0.25 m
	Techo tipo cúpula, espesor	0.07 m
	Losa de fondo del reservorio, espesor	0.20 m
	Concreto	$f'c=210.00 \text{ kg/cm}^2$
	Acero	$f_y=2800.00 \text{ kg/cm}^2$
	Estado actual	Operativo
ESTADO ACTUAL DEL RESERVORIO (INSPECCION VISUAL)		
MURO CILINDRICO	En buen estado estructural	
FUSTE DE SUSTENTACION	En buen estado estructural	

Figura 32. Ficha de reporte de visita RP-2A.

Fuente: Propia

- Reservorio apoyado R-8

RESERVORIO APOYADO EXISTENTE R-8 1200.00 m3
Antigüedad	15 años
	Volumen	1200.00 m3
	Diámetro interior	17.00 m
	Tirante de agua	5.65 m
	Espesor del muro cilíndrico	0.30 m
	Techo tipo cúpula, espesor	0.07 m
	Losa de fondo del reservorio, espesor	0.20 m
	Concreto	$f'c=210.00 \text{ kg/cm}^2$
	Acero	$f_y=2800.00 \text{ kg/cm}^2$
	Estado actual	Operativo
ESTADO ACTUAL DEL RESERVORIO (INSPECCION VISUAL)		
MURO CILINDRICO	El recubrimiento de la armadura esta ligeramente deteriorado alrededor del reservorio desde la base hasta una altura de 1.80 m.	
CUPULA	En buen estado estructural	

Figura 39. Ficha de reporte de visita R-8.

Fuente: Propia

- Reservorio apoyado R-2

RESERVORIO APOYADO EXISTENTE R-2 1000.00 m3
Antigüedad	30 años
	Volumen	1200.00 m3
	Diámetro interior	18.40 m
	Tirante de agua	5.20 m
	Espesor del muro cilíndrico	0.30 m
	Techo tipo cúpula, espesor	0.07 m
	Losa de fondo del reservorio, espesor	0.20 m
	Concreto	f'c=210.00 kg/cm2
	Acero	fy=2800.00 kg/cm2
	Estado actual	Operativo

ESTADO ACTUAL DEL RESERVORIO (INSPECCION VISUAL)		
MURO CILINDRICO	En puntos se nota que el recubrimiento se encuentra deteriorado	
CUPULA	En buen estado estructural	

Figura 40. Ficha de reporte de visita R-2.

Fuente: Propia

- Reservorio apoyado R-1

RESERVORIO APOYADO EXISTENTE R-1 1000.00 m3
Antigüedad	30 años
	Volumen	1000.00 m3
	Diámetro interior	16.16 m
	Tirante de agua	4.95 m
	Espesor del muro cilíndrico	0.30 m
	Techo tipo cúpula, espesor	0.07 m
	Losa de fondo del reservorio, espesor	0.20 m
	Concreto	f'c=210.00 kg/cm2
	Acero	fy=2800.00 kg/cm2
	Estado actual	Operativo
ESTADO ACTUAL DEL RESERVORIO (INSPECCION VISUAL)		
MURO CILINDRICO	En buen estado estructural	
CUPULA	En buen estado estructural	

Figura 41. Ficha de reporte de visita R-1.

Fuente: Propia

- Reservorio apoyado R-6A

RESERVORIO APOYADO EXISTENTE R-6A 750.00 m ³
Antigüedad	30 años
	Volumen	750.00 m ³
	Diametro Interior	13.00 m
	Tirante de agua	6.70 m
	Espesor del muro cilíndrico	0.25 m
	Techi tipo cúpula, espesor	0.07 m
	Losa de fondo de reservorio, espesor	0.20 m
	Concreto	$f'_c = 220.00 \text{ kg/cm}^2$
	Acero	$f_y = 2800.00 \text{ kg/cm}^2$
	Estado actual	No Operativo

ESTADO ACTUAL DEL RESERVORIO (INSPECCION VISUAL)		
MURO CILINDRICO	A una altura de 2.50 m desde el nivel superior de la zapata anular, el recubrimiento entre el concreto y el acero es mínimo, por lo cual el acero esta oxidado en todo el perímetro.	
CUPULA	En mal estado estructural, se nota desprendimiento de concreto de gran parte del área del techo, se aprecia acero estructural expuesto en proceso de oxidación.	

Figura 42. Ficha de reporte de visita R-6A.

Fuente: Propia

4.3 SELECCIÓN DE RESERVORIO APOYADO CON FALLAS

Realizada la inspección se observó que, de los 13 reservorios inspeccionados, 7 de ellos presentaban similares características de falla. Por lo que, se seleccionó un reservorio representativo para el estudio y su posterior propuesta de rehabilitación. El reservorio seleccionado, fue el reservorio apoyado R-6A donde se observó que el recubrimiento entre el concreto y el acero es mínimo. Asimismo, en la cúpula se observó el desprendimiento del concreto de gran parte del techo quedando al descubierto el acero estructural. Este reservorio se encuentra ubicado en el sector 313 y tiene las siguientes características:

Datos del reservorio

Antigüedad	: 30 años
Sector	: 313
Volumen	: 750 m ³
Diámetro interior	: 13.00 m
Tirante de agua	: 6.00 m
Espesor del muro cilíndrico	: 0.25 m
Techo tipo cúpula, espesor	: 0.07 m
Losa de fondo del reservorio, espesor	: 0.20 m
Diente de Zapata Circular	: 0.20 m.
Peralte de Zapata Circular	: 0.55 m.

Construido en concreto armado:

Concreto	$f'_c = 220 \text{ Kg/cm}^2$
Acero	$f_y = 2800 \text{ kg/cm}^2$
Estado actual	: No Operativo
Terreno	: Rocoso

Los datos que se menciona han sido obtenidos del informe presentado por el Ing. Martín Sumaria Valdez del Consorcio Integral & Asesores al Consorcio Aqua Lima en el 2017, tal como se puede ver en el Anexo I de la presente tesis.

4.3.1 Ubicación del reservorio

Figura 33. Plano A de ubicación del reservorio R-6A.

Fuente: SEDAPAL 2018

Figura 36. Vista en planta del reservorio existente R-6A.

Fuente: Propia.

Figura 37. Vista panorámica del reservorio R-6A.

Fuente: Propia.

5 CAPITULO IV: CONFIGURACION Y DIAGNOSTICO DEL RESERVORIO

5.1 CONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL

Para rediseñar el reservorio apoyado R-6A y evaluar su comportamiento estructural es necesario conocer la resistencia del concreto, la disposición del acero de refuerzo y las cargas que actúan sobre la estructura, por lo que, se detalla a continuación.

5.1.1 Resistencia del concreto

De la información proporcionada por la empresa Grupo PEYCO, se tiene que, para determinar la resistencia del concreto del reservorio, se hizo la extracción de muestras de concreto mediante diamantinas. Se extrajeron 06 unidades de testigos, de las cuales 03 pertenecen al muro cilíndrico del reservorio, 02 a la zapata circular y 01 a al techo o cúpula. De las muestras obtenidas del muro cilíndrico 02 se ubican en el rango de altura donde se observan las fallas descritas en el capítulo anterior.

En la figura 38, se puede observar la ubicación de los puntos donde se extrajeron los testigos con diamantina. Asimismo, en la tabla 3, se muestra los resultados de cada punto y el promedio de la resistencia del concreto de la estructura. Los ensayos se realizaron en el laboratorio de ensayo de materiales de la UNI, tal como se puede observar en el Anexo II de la tesis.

Figura 38. Ubicación de los puntos de extracción de testigos con diamantinas.

Fuente: Grupo PEYCO, 2018.

Tabla 3. Resistencia a la compresión de testigos extraídos de reservorio R-6A.

MUESTRA	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kg/cm ²)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROMEDIO (kg/cm ²)
Muro Cilíndrico	197.00	221.33
	240.00	
	227.00	
Zapata Circular	333.00	289.50
	246.00	
Techo Cúpula	241.00	241.00

Fuente: Grupo PEYCO, 2018.

De acuerdo a los resultados para rediseñar el reservorio, se utilizó la resistencia a la compresión promedio de 220.00 kg/cm². Sin embargo, cabe indicar que, para comprobar este resultado, se utilizó un esclerómetro, el cual otorgó un valor promedio de 225.00 kg/cm² en las zonas con fisuras no estructurales. Asimismo, es importante mencionar que este último instrumento de medición, otorga resultados con menor precisión que la prueba de la diamantina, pero verifica la resistencia a la compresión de un elemento sin destruirlo.

5.1.2 Descubrimiento de armadura

Esta información fue obtenida para conocer la posición, distribución y características del acero de refuerzo utilizado en la construcción del reservorio. Para ello, se realizó el corte de la pared hasta llegar a los refuerzos de acero tal como se observa en la figura 49. De esta manera, se determinó la composición del refuerzo utilizado en la estructura. Los resultados obtenidos de la configuración se muestran en la tabla 4 para el refuerzo horizontal.

Figura 39. Descubrimiento de armadura (muro cilíndrico).

Fuente: Grupo PEYCO, 2018.

Tabla 4. Refuerzo horizontal obtenido para el muro cilíndrico del reservorio.

Ø 5/8"	@20.0 cm
Ø 1"	@20.0 cm
Ø 1"	@20.0 cm
Ø 1"	@20.0 cm
Ø 1 1/4"	@20.0 cm
Ø 1 1/4"	@20.0 cm
Ø 1 1/4"	@20.0 cm
Ø 1 1/4"	@20.0 cm
Ø 3/4"	@20.0 cm
Ø 3/4"	@25.0 cm

Fuente: Propia

El refuerzo vertical utilizado en la estructura según lo obtenido en campo, está configurado por acero de Ø 1" @ 0.20 m.

5.2 DISEÑO ESTRUCTURAL DEL RESERVORIO SELECCIONADO

El reservorio será rediseñado para resistir presiones hidráulicas y sobrecargas que les impongan como consecuencia de su uso previsto. Estas actuarán en las combinaciones prescritas y no causarán esfuerzos que excedan los admisibles a nivel de cargas de trabajo. Como se especificó en el marco teórico, el desarrollo se realizará tomando como referencia al método racional especificado en el documento de *Portland Cement Association "Circular, Concrete Tanks Without Prestressing"*.

Datos del reservorio seleccionado

El reservorio es una estructura rígida de forma cilíndrica, la cual presenta una cobertura tipo cúpula, que la componen las siguientes partes:

- Cimentación
- Pared cilíndrica de la cuba
- Anillo de apoyo de la cúpula
- Cubierta de cúpula esférica

Para el análisis y diseño se ha considerado las propiedades de los materiales que se describen a continuación.

Concreto armado

- Resistencia característica cimentación, muro y techo (f'_c): 220 kg/cm²
- Peso específico (p.e) = 2400 Kg/m³
- Módulo de Elasticidad del concreto de peso normal (E_c) = $15000 \sqrt{f'_c}$ kg/cm²

Acero de refuerzo

- Resistencia característica: $f_y = 2800$ kg/cm²
- Módulo de Elasticidad del acero: $E_s = 2.0 \times 10^6$ kg/cm²
- Especificación: ASTM A615/GRADO 40

Cargas

Las cargas consideradas para el diseño son las siguientes:

- Carga Muerta:
Se consideró el peso propio de los elementos, de acuerdo a los materiales y geometría de los elementos.
- Carga Vivas:
Se considera la siguiente sobrecarga
 - Sobrecarga en techo de reservorio Elevado de 50 Kg/m²
 - Presión Hidrostático en la Cuba de 1000*H Kg/m²
- Carga de sismo (S):
 - Factor de Zona
El Reservorio se encuentra ubicado Lima, la cual según la Norma E.030 pertenece a la zona 4, por lo que le corresponde un factor de zona $Z=0.45$.
 - Factor de Importancia.
La estructura tiene la intención de seguir siendo útil para casos de emergencia después de un terremoto, por lo que le corresponde un factor $U=1.5$

- Factor de Suelo

Tipo S1, $S=1.0$ y $T_p=0.40$ s

- Factor de Modificación de Respuesta.

La estructura del reservorio le corresponde el siguiente coeficiente de reducción:

- R_i (Coeficiente para masa impulsiva) $R_{wi}=2.0$
- R_c (Coeficiente para masa convectiva) $R_{wi}=1.0$

5.3 ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y SÍSMICO

Para el análisis estructural y sísmico de las estructuras de almacenamiento de agua se realizó de acuerdo al método racional especificado en el documento de Portland Cement Association “Circular, Concrete Tanks Without Prestressing” según las siguientes consideraciones:

- El análisis estático considerará cargas permanentes (cargas por peso propio) y cargas variables (carga hidrostática), según la norma E020.
- El análisis dinámico considerará cargas accidentales (carga sísmica), según la norma E030 y algunos parámetros de la ACI-350.

A continuación, se presentará el desarrollo del rediseño del reservorio apoyado R-6ª, para lo cual, se utilizó las tablas de la PCA que se muestran en el Anexo III.

5.3.1 Análisis Estático

5.3.1.1 Verificación del pre dimensionamiento del reservorio

Datos generales obtenidos para el reservorio R-6A.

- Volumen del reservorio (Capacidad.): 750 m^3
- Diámetro interior del reservorio: 13.0 m
- Espesor del muro cilíndrico: 0.25 m
- Altura de agua (Tirante): 6.00 m
- Borde libre: 0.70 m
- Altura del muro: 6.70 m
- Resistencia a la compresión promedio f'_c promedio: 220 kg/cm^2

- Esfuerzo de fluencia f_y : 2800 kg/cm²
- Módulo de elasticidad del acero: 2000000 kg/cm²
- Deformación unitaria del concreto: 0.0003 kg/cm²

El cálculo del pre dimensionamiento para la verificación de la altura mínima requerida del reservorio se realizó mediante la siguiente ecuación $H = -0.000V^3 - 0.014V^2 + 0.6926V + 4.40$ (Gogate & Domel, 1993), donde la altura depende directamente del volumen de almacenamiento del reservorio.

Tabla 5. Verificación de las dimensiones del reservorio

Altura mínima requerida (1)	$H = -0.000V^3 - 0.014V^2 + 0.6926V + 4.40$	4.91	m
Altura de agua (Tirante) (2)	Dato de campo	6	m
	(1)<(2)	CUMPLE	
Diámetro mínimo requerido (1)	$D = \sqrt{\frac{4}{\pi} \left(\frac{V}{H} \right)}$	12.62	m
Diámetro interno del reservorio (2)	Dato de campo	13	m
	(1)<(2)	CUMPLE	
Borde Libre (1)	$BL = (0.05 - 0.10) H$	0.6	m
Borde Libre (2)	Dato de campo	0.7	m
	(1)<(2)	CUMPLE	

Fuente: Propia

5.3.1.2 Verificación de espesor de muro

Para una pared con una base fija y una parte superior libre, el coeficiente para determinar la tensión anular, los momentos y el corte en el tanque se muestran en las Tablas A-1, A-2 y A-12 respectivamente. Los valores apropiados que se utilizarán para la dimensión dada de un tanque se determinan al encontrar el valor de H^2 / Dt .

$$t = 0.25 \text{ m}$$

$$H = 6.00 \text{ m}$$

$$D = 13.00 \text{ m}$$

Realizando el cálculo de la relación altura, diámetro y espesor se obtiene un valor de 11 para el coeficiente, el cual, nos permite obtener el coeficiente de corrección para determinar la tensión anular a partir de la Tabla A-1 establecido en la PCA para un muro de base fija y sin cubierta. Para el caso de un muro de base articulada y sin cubierta el valor del coeficiente fue obtenido de la tabla A-5.

Tabla 6. Tensión anular máxima para base fija y articulada.

Peso específico del agua	W_L	1.00	Tn/m ³
Altura del liquido	H	6.00	m
Radio del reservorio	R	6.50	m
Coeficiente sanitario	u	165	
Carga hidrostática ultima	$W_u = Coef. sanitario \times$ (1.7x peso del líquido)	2.8	Tn/m ²
Coeficiente de corrección	Coef. Tabla A-1 (*)	0.617	
Tensión máx. base empotrada	$T = Coef. \times W_u HR$	67.5	Tn/m
Coeficiente de corrección	Coef. Tabla A-5 (**)	0.74	
Tensión máx base articulada	$T = Coef. \times W_u HR$	81.0	Tn/m

(*) Se toma el mayor valor de la tabla A-1 del Portland Cement Association (PCA, 1993).

(**) El valor del coeficiente de corrección corresponde al mayor valor de la tabla A-5 de la PCA (1993).

Para verificar el espesor del muro se considera el mayor valor de la tensión anular, el cual se produce cuando se considera un muro con base articulada, así mismo, esta debe estar sin amplificar.

Tabla 7. Verificación del espesor de muro.

Fluencia del acero	F_s	1400	kg/cm ²
Área de acero	A_s	20.61	cm ²
Deformación unitaria del concreto	C	0.0003	
Resistencia del concreto en campo (1)	f'_c	220	kg/cm ²
Módulo de elasticidad del acero	E_s	2×10^6	kg/cm ²
Módulo de elasticidad del concreto	$E_c = 15000(E_s)^{1/2}$	222486	kg/cm ²
Relación de módulos	$n = E_s/E_c$	8.9893	
Espesor de muro	t	25	cm
Tensión máx	$T_{máx}$	81.0	tn/m
Tensión sin amplificación de carga	$T = T_{máx} / (1.7 \times 1.65)$	28.9	tn/m
Resistencia del concreto calculado (2)	$f'_c = (C \cdot E_s \cdot A_s + T \cdot 1000) / (t \cdot 100 + n \cdot A_s)$	15.4	kg/cm ²
Verificación	$(2) < (1)$	CUMPLE	

Fuente: Propia

5.3.1.3 Cálculo de las fuerzas de tensión por altura

El cálculo se realizó considerando el tanque lleno sin relleno de suelo y sin cobertura, tal como se muestra en la figura 50.

Figura 40. Fuerzas de tensión de reservorio lleno con base fija y sin cobertura.

Fuente: (Martos, 2018, pág. 18)

Considerando para la base empotrada una presión hidrostática de 109.4 tn/m y los factores de corrección de la tabla A-1 de la PCA, se obtiene los siguientes valores para la tensión por altura.

Tabla 8. Tensión sobre la pared del muro por altura con base empotrada.

Punto	Coefficiente (Tabla A-1)	T
0.0H	-0.008	-0.9 tn/m
0.1H	0.0975	10.7 tn/m
0.2H	0.205	22.4 tn/m
0.3H	0.3175	34.7 tn/m
0.4H	0.433	47.4 tn/m
0.5H	0.5425	59.3 tn/m
0.6H	0.617	67.5 tn/m
0.7H	0.611	66.8 tn/m
0.8H	0.467	51.1 tn/m
0.9H	0.195	21.3 tn/m
1.0H	0	0.0 tn/m

Fuente: Propia

Por otro lado, al considerar la base como articulada para una situación más desfavorable la distribución de la tensión es como se muestra en la figura 51.

Figura 41. Distribución de la tensión sobre el muro con base articulada.

Fuente: (Gogate & Domel, 1993, págs. A-4)

Realizado el cálculo se obtiene los valores para la tensión por altura.

Tabla 9. Tensión sobre la pared del muro por altura con base articulada

Punto	Coefficiente (Tabla A-5)	T
0.0H	-0.005	-0.5 tn/m
0.1H	0.096	10.5 tn/m
0.2H	0.1985	21.7 tn/m
0.3H	0.3065	33.5 tn/m
0.4H	0.4225	46.2 tn/m
0.5H	0.5465	59.8 tn/m
0.6H	0.665	72.7 tn/m
0.7H	0.74	81.0 tn/m
0.8H	0.699	76.5 tn/m
0.9H	0.455	49.8 tn/m
1.0H	0	0.0 tn/m

Fuente: Propia

Asimismo, al realizar la gráfica de las comparaciones de la tensión en ambas condiciones donde se observa que la condición más desfavorable es cuando se considera una base articulada.

Figura 42. Comparación de tensiones sobre el muro con base empotrada y base articulada.

Fuente: Propia

5.3.1.4 Cálculo de momento flector por altura

El momento por altura fue calculado acuerdo a la expresión.

$$M = Coef. \times W_u H^3$$

Donde la carga hidrostática sobre la pared es la multiplicación del factor de carga, el coeficiente sanitario y el peso del líquido del reservorio, siendo el coeficiente sanitario de 1.3 para cargas de flexión. El coeficiente de corrección se obtiene a partir de la tabla A-2 de la PCA.

$$W_u = Coef. sanitario * (1.7 * peso liquido)$$

$$W_u = 1.3 * (1.7 * 1.00) = 2.21 \text{ tn/m}^3$$

$$\text{Asimismo, } W_u H^3 = 447.4 \text{ tn} - \text{m/m}$$

Los valores calculados para el momento flector por altura se muestran en la tabla 10, considerando el reservorio lleno sin relleno de suelo y sin cobertura.

Tabla 10. Momento flector por altura causado por la presión hidrostática con base empotrada

Punto	Coficiente (Tabla A-2) $\frac{H^2}{Dt} = 11$	Momento $M = Coef. \times W_u H^3$
0.0H	0	0.0 Tn-m/m
0.1H	0	0.0 Tn-m/m
0.2H	0	0.0 Tn-m/m
0.3H	0.0001	0.0 Tn-m/m
0.4H	0.0003	0.1 Tn-m/m
0.5H	0.0005	0.2 Tn-m/m
0.6H	0.0016	0.8 Tn-m/m
0.7H	0.0026	1.2 Tn-m/m
0.8H	0.0027	1.3 Tn-m/m
0.9H	-0.00085	-0.4 Tn-m/m
1.0H	-0.0113	-5.4 Tn-m/m

Fuente: Propia

Al igual que para el cálculo de la tensión, se realizó el cálculo del momento flector considerando una pared con base articulada, sin relleno de suelo y sin cobertura. Para ello, se utilizó la tabla A-7 de la PCA para los coeficientes de corrección, cuyos resultados se muestran en la tabla 11.

Tabla 11. Momento flector por altura causado por la presión hidrostática con base articulada.

Punto	Coficiente (Tabla A-7) $\frac{H^2}{Dt} = 11$	Momento $M = Coef. \times W_u H^3$
0.0H	0	0.0 Tn-m/m
0.1H	0	0.0 Tn-m/m
0.2H	0	0.0 Tn-m/m
0.3H	-0.00015	-0.1 Tn-m/m
0.4H	-0.00015	-0.1 Tn-m/m
0.5H	0.0001	0.0 Tn-m/m
0.6H	0.0008	0.4 Tn-m/m
0.7H	0.0021	1.0 Tn-m/m
0.8H	0.00375	1.8 Tn-m/m
0.9H	0.0042	2.0 Tn-m/m
1.0H	0	0.0 Tn-m/m

Fuente: Propia

Figura 43. Comparación de momento flector sobre el muro con base empotrada y base articulada.

Fuente: Propia

Como se puede observar en la figura 53, el mayor momento flector se da cuando la base es articulada en el punto 0.9 H.

5.3.1.5 Cálculo de la cortante en la base causada por el fluido

Para el cálculo se realizó aplicando la fórmula de Timoshenko y se consideró el reservorio lleno sin relleno de suelo y sin cubierta. En la tabla 12, se muestra los datos y el valor obtenido para la cortante basal.

Tabla 12. Cortante basal causada por el fluido.

Peso del liquido	W_L	1.7	tn/m ³
Radio del reservorio	R	6.5	m
Altura del liquido	H	6	m
Espesor del muro	t	0.25	m
Coeficiente de poisson	ν	0	
Coeficiente de Timoshenko	$\beta = ((3*(1-\nu)^2)/(R^2*t^2))^{1/4}$	1.032413396	
Cortante Basal	$V = W_u * H * t * R$	9.08	tn

Fuente: Propia

5.3.1.6 Cálculo de la cortante influenciado por la cubierta

Tabla 13. Cortante en el borde influenciada por la cubierta.

Altura de relleno	H_s	0.00001	m
Radio del reservorio	R	6.50	m
Relación altura, radio	H_s/R	1.538×10^{-6}	
Coeficiente en el borde	Coef. Tabla A-8(*)	-9.02	
Tracción del borde	T_b	-0.0000313	tn/m
Tracción para nulisar	T	0.0000313	tn/m
Cortante en el borde	$V_b = (H_s/R) * T / \text{Coef. en el borde}$	5.33×10^{-12}	tn/m

(*) El coeficiente es obtenido en el punto 0.0H de la tabla A-8 de la PCA.

A partir de la cortante en el borde se procede a calcular la tracción según la altura de relleno del suelo, para lo cual, se utiliza la tabla A-8 de la PCA para la obtención de los coeficientes.

Tabla 14. Tracción a causa de la cortante en el borde superior, reservorio vacío.

Punto	Coficiente (Tabla A-8)	Tracción (coef.*VR/Hs)
0.0Hs	-9.02	0.000031 tn/m
0.1Hs	-5.17	0.000018 tn/m
0.2Hs	-2.27	0.000008 tn/m
0.3Hs	-0.5	0.000002 tn/m
0.4Hs	0.34	-0.000001 tn/m
0.5Hs	0.59	-0.000002 tn/m
0.6Hs	0.53	-0.000002 tn/m
0.7Hs	0.35	-0.000001 tn/m
0.8Hs	0.17	-0.000001 tn/m
0.9Hs	0.01	0.000000 tn/m
1.0Hs	0	0.000000 tn/m

Fuente: Propia

Figura 44. Tracción a causa de la cortante en el borde superior, reservorio vacío.

Fuente: Propia.

5.3.1.7 Cálculo de la fuerza cortante del borde causado por la presión de fluido

Para el cálculo de la fuerza cortante a causa de la presión del fluido, se utiliza la condición más desfavorable de los casos evaluados como son muro con base empotrada y base articulada.

Tabla 15. Cálculo de la fuerza cortante en el borde a causa de la presión de fluido.

Tracción en el borde	Tabla A-1, base empotrada	-0.9	tn/m
Tracción en el borde	Tabla A-5, base articulada	-0.5	tn/m
Altura del liquido	H_L	6.0	m
Diámetro del reservorio	D	13.0	m
Espesor de muro	t	0.25	m
Coeficiente (*)	Coef. (Tabla A-8)	-12.215	
Relación Altura-radio	H_a/R	0.9230769	
Cortante en el borde	$V = T_{\text{máxima}} * (H_a/R) * (1/\text{Coef.})$	-0.0661	tn/m

(*) El valor del coeficiente se obtiene de la evaluación del valor de $\frac{H^2}{Dt}$ para el punto 0.0H de la tabla A-8 de la PCA..

La distribución de la tracción a partir de la cortante en el borde para el reservorio lleno, se realiza a través de la tabla A-8 de la PCA cuyos valores se muestran en la tabla 16.

Tabla 16. Tracción debido a la fuerza cortante en el borde.

Punto	Coeficiente (Tabla A-8)	Tracción por la cortante en el borde ($T = \text{Coef.} \cdot VR/H$)
0.0H	-12.215	0.9 tn/m
0.1H	-5.42	0.4 tn/m
0.2H	-1.23	0.1 tn/m
0.3H	0.495	0.0 tn/m
0.4H	0.805	-0.1 tn/m
0.5H	0.57	0.0 tn/m
0.6H	0.27	0.0 tn/m
0.7H	0.08	0.0 tn/m
0.8H	0	0.0 tn/m
0.9H	0	0.0 tn/m
1.0H	0	0.0 tn/m

Fuente: Propia.

Figura 45. Tracción por la cortante en el borde para el reservorio lleno.

Fuente: Propia.

Para el cálculo de momento flector causada por la cortante en el borde para el tanque lleno, se hace uso de la tabla A-9 de la PCA. Además, se debe considerar un coeficiente sanitario de 1.3, por lo que, la cortante en el borde por flexión sería.

$$V_{(flexión)} = V * \frac{Coef. sanitario (flexión)}{Coef. sanitario (tracción)}$$

$$V_{(flexión)} = -0.0661 * 1.3 / 1.65 = 0.052 \text{ tn/m}$$

Asimismo, el momento flector fue calculado según la siguiente expresión de la PCA.

$$M = V * H$$

$$M = -0.052 * 6.0 = -0.31 \text{ tm} - \text{m/m}$$

Los valores obtenidos para los momentos según la altura se muestran en la tabla 17.

Tabla 17. Momento flector debido a la cortante en el borde para el reservorio lleno.

Punto	Coeficiente (Tabla A-8)	Momento por la cortante en el borde (T= Coef.*V*H)
0.0H	0	0.000 Tn-m/m
0.1H	0.051	-0.016 Tn-m/m
0.2H	0.0455	-0.014 Tn-m/m
0.3H	0.0255	-0.008 Tn-m/m
0.4H	0.0095	-0.003 Tn-m/m
0.5H	0.001	0.000 Tn-m/m
0.6H	-0.002	0.001 Tn-m/m
0.7H	-0.002	0.001 Tn-m/m
0.8H	-0.0015	0.000 Tn-m/m
0.9H	-0.0005	0.000 Tn-m/m
1.0H	0	0.000 Tn-m/m

Figura 46. Gráfico del momento flector debido a la cortante para el tanque lleno.

Fuente: Propia.

5.3.1.8 Cálculo de las fuerzas de tracción y momentos causados por el fluido lleno con cubierta

Para las fuerzas de tracción causado por el fluido y la cubierta, se realiza la suma de la tracción provocado por el empuje del fluido y la cortante en el borde. Los valores de la tracción resultante se muestran en la tabla 18.

Tabla 18. Tracción resultante para el reservorio lleno con cubierta.

Punto	Empuje de flujo con borde libre	Empuje de flujo con cortante en el borde (cubierta)	Tracción resultante
0.0H	-0.21	0.9	0.7 tn/m
0.1H	10.85	0.4	11.2 tn/m
0.2H	22.43	0.1	22.5 tn/m
0.3H	34.73	0.0	34.7 tn/m
0.4H	47.37	-0.1	47.3 tn/m
0.5H	59.78	0.0	59.7 tn/m
0.6H	72.75	0.0	72.7 tn/m
0.7H	80.95	0.0	80.9 tn/m
0.8H	76.47	0.0	76.5 tn/m
0.9H	49.77	0.0	49.8 tn/m
1.0H	0.00	0.0	0.0 tn/m

Fuente: Propia.

Figura 47. Gráfico de la tracción resultante del tanque lleno con cobertura.

Fuente: Propia.

Al igual que la tracción, el momento flector resultante es calculado a través de la suma del momento provocado por el empuje y el momento a causa de la cortante en el borde originada por la cobertura. Los valores obtenidos se muestran en la tabla 19 y el gráfico del comportamiento en la figura 58.

Tabla 19. Momento flector resultante para el reservorio lleno con cobertura.

Punto	Empuje de flujo con borde libre	Empuje de flujo con cortante en el borde (cubierta)	Momento resultante
0.0H	0.00	0.00	0.0 Tn-m/m
0.1H	0.00	-0.02	0.0 Tn-m/m
0.2H	0.00	-0.01	0.0 Tn-m/m
0.3H	0.05	-0.01	0.0 Tn-m/m
0.4H	0.14	0.00	0.1 Tn-m/m
0.5H	0.24	0.00	0.2 Tn-m/m
0.6H	0.76	0.00	0.8 Tn-m/m
0.7H	1.24	0.00	1.2 Tn-m/m
0.8H	1.29	0.00	1.3 Tn-m/m
0.9H	-0.41	0.00	-0.4 Tn-m/m
1.0H	-5.39	0.00	-5.4 Tn-m/m

Fuente: Propia.

Figura 48. Gráfico del momento flector resultante para el reservorio lleno y con cubierta.

Fuente: Propia.

5.3.2 ANÁLISIS DINAMICO

5.3.2.1 Análisis sísmico para tanque lleno

Inicialmente para el análisis del reservorio en estado de servicio, se pre dimensionó la cubierta o cúpula del reservorio a fin de tener todas las masas de la estructura. Por ello, la flecha de la cúpula esférica se determinó mediante el grafico de relación optima de f/D del ACI SP-28.

Figura 49. Relación óptima entre f/D y el diámetro del reservorio.

Determinado la contraflecha, se realizó el cálculo del peso de la cúpula del reservorio.

Tabla 20. Cálculo del peso de la cúpula del reservorio.

Diámetro del reservorio	D	13.0	m
Relación f/D	f/D	0.095	
Flecha	$f = (f/D) * D$	1.24	m
Altura del muro	H	6.70	m
Radio del reservorio	R	6.50	m
Radio de la cúpula	$R_c = \frac{R^2 + f^2}{2h}$	17.72	m
Espesor (campo)	t	0.07	m
Volumen de la cúpula	$V_c = 2\pi * R_c * f * t$	9.6	m ³
T	$T = 180 * \text{Atan}(\frac{R}{R_c - f}) / \pi$	21.52	m
Centro de masa	$C_m = \frac{R_c * \text{sen}(\frac{\pi T}{180})}{\frac{\pi T}{180}}$	17.31	m

Centro de masa desde la base	$C_b = H - (R_c - f - C_m)$	7.52	m
Peso de cúpula	$w = V_c * 2.4$	23.10	tn

Fuente: Propia.

Calculado el peso de la cúpula, procedemos a determinar los valores de la masa impulsiva y convectiva.

Tabla 21. Cálculo de masa impulsiva y convectiva del reservorio.

Altura del tirante liquido	H_L	6.00	m
Altura del muro	H_T	6.70	m
Diámetro de reservorio	D	13.0	m
Relación altura-diámetro	H_L/D	0.46	
Radio del reservorio	R	6.50	m
Peso específico del agua	γ	1.00	tn/m ³
Peso del Liquido	$W_L = \pi R^2 * H_L * \gamma$	796.4	tn
Peso de la masa impulsiva	$W_I = \frac{\tanh(0.85 \frac{D}{H_L})}{0.85 \frac{D}{H_L}} W_L$	411.22	tn
Peso de la masa convectiva	$W_C = \frac{0.71 \tanh(3.68 \frac{H_L}{D})}{3.68 \frac{H_L}{D}} W_L$	311.35	tn
Altura de la masa impulsiva desde el fondo del depósito	$H_I = \frac{3}{8} H_L \{1 + \alpha \left(\frac{W_L}{W_I} - 1 \right)\}$	2.25	m
Altura de la masa convectiva desde el fondo del depósito	$H_C = H_L \{1 - 0.0525 \frac{W_L}{W_I} \left(\frac{D}{H_L} \right)^2 + 0.275 \beta \frac{D}{H_L} \sqrt{0.0375 \left(\frac{D W_L}{H_L W_C} \right)^2}\}$	3.61	m
Rigidez del resorte unida a la masa convectiva	$K_C = \frac{19 H_L}{H_L} \left(\frac{W_C}{D} \right)^2$	82.1	tn/m

Volumen del muro	$V_w = 2\pi D * t * H_T$	68.4	m ³
Peso del muro	$W_w = 2.4 * V_w$	164.18	tn

Fuente: Propia.

Para el cálculo total del peso de la masa impulsiva, que corresponde al peso de la cúpula, muro y el peso impulsivo del líquido. Los valores obtenidos de peso y momento total impulsivo se muestran en la tabla --.

Tabla 22. Peso total de la masa impulsiva.

Masa	Peso	Centroide desde la base	Momento respecto la base
Impulsiva	411.22 Tn	2.25 m	925.3 Tn-m
Muro	164.18 Tn	3.35 m	550.0 Tn-m
Cúpula	23.10 Tn	7.52 m	173.8 Tn-m
Peso total impulsivo	598.51 Tn	Suma momento	1649.0 Tn-m

Fuente: Propia.

El centroide del conjunto se calculó mediante la expresión $H_g = \frac{\sum W}{\sum M}$, obteniendo como resultado la ubicación del centroide a 2.76 m desde la base del reservorio.

5.3.2.2 Cálculo de la cortante a causa de la masa impulsiva

Para el cálculo de la cortante basal causado por el total de la masa impulsiva, se tomó en cuenta las consideraciones de la zona sísmica, factor de importancia, factor de suelo entre otros de acuerdo a la norma E.030 y el ACI 350. Los valores considerados se muestran en la figura 61.

Datos requeridos:

Z(zona)=	0.45	(E030)
U(importancia)=	1.5	(ACI 350)
S(factor suelo)=	1	(E030)
T _p =	0.4	(E030)
T _L =	2.5	(E030)
T=	0.132	(E030)
C=	2.5	(E030)
R _i =	2.75	(ACI 350)
g=	9.81 m/seg ²	
ZUCS/R=	0.61.g	

$$T < T_p \quad C = 2,5$$

$$T_p < T < T_L \quad C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_p}{T} \right)$$

$$T > T_L \quad C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_p \cdot T_L}{T^2} \right)$$

Figura 50. Datos necesarios para el cálculo de la cortante basal.

Fuente: Elaboración propia.

Considerando el peso impulsivo de 598.51 Tn, la cortante basal se calculó de acuerdo a la siguiente expresión.

$$V_I = W_I \cdot ZUCS/R$$

$$V_I = 598.51 \cdot 0.61 = 367.27 \text{ Tn}$$

De igual manera, se realizó el cálculo del momento causado por el peso impulsivo mediante la siguiente expresión.

$$M_I = V_I \cdot H_g$$

$$M_I = 367.27 \cdot 2.76 = 1011.9 \text{ Tn} - m$$

5.3.2.3 Cálculo de la cortante a causa de la masa convectiva

Tabla 23. Cálculo de la cortante y momento debido a la masa convectiva.

Rigidez del resorte unida a la masa convectiva	$K_C = \frac{19H_L}{H_L} \left(\frac{W_C}{D} \right)^2$	82.1	tn/m
Peso de la masa convectiva	$W_C = \frac{0.71 \tanh(3.68 \frac{H_L}{D})}{3.68 \frac{H_L}{D}} W_L$	311.35	tn
	Rc	1	
Aceleración espectral	$S_a = \frac{ZUCS}{R} * \frac{Rc}{Ri}$	0.2231	g
Masa convectiva	$m_c = \frac{W_C}{9.81}$	31.74	Tn.s ² /m
Frecuencia angular	$\omega = \left(\frac{K_C}{m_c} \right)^{1/2}$	1.61	Rad/s
Velocidad espectral	$S_v = \frac{S_a}{\omega}$	0.14	
Desplazamiento máximo de la masa convectiva respecto los muros	$A_C = \frac{S_v}{\omega}$	0.09	m
Cortante convectiva	$V_C = K_C * A_C$	7.08	Tn
Altura de la masa convectiva desde el fondo del depósito	$H_C = H_L \left\{ 1 - 0.0525 \frac{W_L}{W_I} \left(\frac{D}{H_L} \right)^2 + 0.275 \beta \frac{D}{H_L} \sqrt{0.0375 \left(\frac{DW_L}{H_L W_C} \right)^2} \right\}$	3.61	m
Momento convectivo	$M_C = V_C * H_C$	25.57	Tn-m

Fuente: Propia.

5.3.2.4 Cálculo de la cortante y momento de volteo total

Tabla 24. Cortante y momento de volteo total.

Cortante convectiva	$V_C = K_C * A_C$	7.08	Tn
Cortante impulsiva	$V_I = W_I * ZUCS / R$	367.27	Tn
Momento Impulsivo	$M_I = V_I * H_g$	1011.90	Tn-m
Momento convectivo	$M_C = V_C * H_C$	25.6	Tn-m
Cortante en la base	$V_{base} = (V_I^2 + V_C^2)^{1/2}$	367.33	Tn
Momento en la base	$M_{base} = (M_I^2 + M_C^2)^{1/2}$	1012.2	Tn-m

Fuente: Propia.

Calculo de la altura de la onda o altura de chapoteo producto del movimiento sísmico, el cual debe estar por debajo de la altura libre del reservorio.

Tabla 25. Verificación de la altura de chapoteo y altura libre del reservorio.

Diámetro de reservorio	D	13.00	m
Altura del tirante líquido	H_L	6.00	m
Gravedad	g	9.81	m/s ²
Frecuencia angular	$\omega = \left(\frac{K_c}{m_c}\right)^{1/2}$	1.61	Rad/s
Desplazamiento máximo de la masa convectiva respecto los muros	$A_c = \frac{S_v}{\omega}$	0.09	m
Amplitud angular de las oscilaciones	$\theta_h = 3.07 \frac{A_c}{D} \tanh\left(3.68 \frac{H_L}{D}\right)$	0.019	
Desplazamiento vertical máximo (1)	$d_{max} = \frac{0.204 D \coth\left(3.68 \frac{H_L}{D}\right)}{\frac{g}{\omega_c^2 \theta_h D} - 1}$	0.1981	m
Altura Libre (2)	H_b	0.70	m
VERIFICACIÓN	(1) < (2)	CUMPLE	

Fuente: Propia.

Tabla 26. Distribución de la presión hidrodinámica en los muros.

Cortante en la base	$V_{base} = (V_l^2 + V_c^2)^{1/2}$	367.33	Tn
Momento en la base	$M_{base} = (M_l^2 + M_c^2)^{1/2}$	1012.2	Tn-m
Cortante por unidad de longitud	$v_s = \frac{V_{base}}{\pi R}$	18.0	Tn/m
Cortante por unidad de longitud	$m_s = \frac{M_{base}}{\pi R}$	49.6	Tn/m

La distribución de presión lineal equivalente en las paredes del depósito es de forma trapezoidal, tal como se muestra en la figura 61. El cálculo de la presión se realizó mediante las siguientes ecuaciones.

Figura 51. Distribución lineal equivalente de las presiones hidrométricas locales.

Fuente: (Pavón, 2001)

La presión hidrométrica superior

$$v_s = (p_o + p_H) \frac{H_L}{2}$$

$$m_s = (p_o + 2p_H) \frac{H_L^2}{6}$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones se obtiene un valor de 2.3 Tn/m² para la presión equivalente en el borde superior (p_H) y 3.731 Tn/m² para la presión equivalente en el borde inferior (p_o).

El cálculo de la tracción se realizó utilizando la tabla A-3 de la PCA, el cual considera una base fija con carga uniforme. Sin embargo, la distribución de la presión hidrométrica es de forma trapezoidal sobre el muro, por ello, se realizó el artificio de descomponer la presión como se muestra en la figura 62.

Figura 52. Artificio de descomposición de cargas para el cálculo de la tracción.

Fuente: Propia

Los valores obtenidos para la tracción en cada punto para una carga uniforme y un apoyo empotrado se muestran en la tabla 27, considerando que la tracción máxima ($p_H * R$) es de 14.7 Tn/m.

Tabla 27. Distribución de las tracciones con carga uniforme y base fija.

Punto	Coeficiente (Tabla A-3) $\frac{H^2}{Dt} = 11$	Tracción por sismo ($T = Coef.* p_H * R$)
0.0H	0.9915	14.6 tn/m
0.1H	0.9975	14.7 tn/m
0.2H	1.0065	14.8 tn/m
0.3H	1.0185	15.0 tn/m
0.4H	1.035	15.2 tn/m
0.5H	1.0415	15.3 tn/m
0.6H	1.009	14.9 tn/m
0.7H	0.885	13.0 tn/m
0.8H	0.6215	9.2 tn/m
0.9H	0.244	3.6 tn/m
1.0H	0	0.0 tn/m

Fuente: Propia

Para la presión distribuida variable, la tensión máxima se calculó de acuerdo a la expresión.

$$T = (p_H - p_0) * H * R = -57.2 \text{ Tn/m}$$

Los coeficientes para la distribución de la tensión en el muro a causa de la presión variable se obtuvieron de la tabla A-1 de la PCA, el cual considera una base empotrada.

Tabla 28. Distribución de las tracciones con carga variable y base fija.

Punto	Coeficiente (Tabla A-1) $\frac{H^2}{Dt} = 11$	Tracción (carga triangular de sismo) $T = Coef.* (p_H - p_0) * H * R$
0.0H	-0.008	0.5 tn/m
0.1H	0.0975	-5.6 tn/m
0.2H	0.205	-11.7 tn/m
0.3H	0.3175	-18.1 tn/m
0.4H	0.433	-24.7 tn/m
0.5H	0.5425	-31.0 tn/m
0.6H	0.617	-35.3 tn/m
0.7H	0.611	-34.9 tn/m
0.8H	0.467	-26.7 tn/m
0.9H	0.195	-11.1 tn/m
1.0H	0	0.0 tn/m

Fuente: Propia

Las cargas de tracción total, es la diferencia entre la distribución de presión uniforme menos la distribución de la presión variable de forma triangular.

Tabla 29. Distribución de tracción total base fija.

Punto	tracción presión uniforme	tracción presión variable(-)	Tracción total sísmica
0.0H	14.60	0.46	14.14
0.1H	14.69	-5.57	20.26
0.2H	14.82	-11.72	26.54
0.3H	15.00	-18.15	33.14
0.4H	15.24	-24.75	39.99
0.5H	15.34	-31.00	46.34

0.6H	14.86	-35.26	50.12
0.7H	13.03	-34.92	47.95
0.8H	9.15	-26.69	35.84
0.9H	3.59	-11.14	14.74
1.0H	0.00	0.00	0.00

Fuente: Propia

La tracción que se genera en el borde superior del reservorio debe ser anulada mediante la cubierta del reservorio, para lo cual, primero se realiza el cálculo de la cortante que se genera en el borde y posteriormente calcular la tracción.

Tabla 30. Cálculo de la cortante y tracción en el borde influenciada por la cubierta.

Tracción de borde	T _b	14.14	Tn/m
Tracción para anular	T	-14.14	Tn/m
Altura tirante líquido	H _L	6.0	M
Radio del reservorio	R	6.5	m
Coeficiente	Coef. (Tabla A-8 para el punto 0.0H)	-12.215	
Cortante en el borde	$V_b = \frac{TH_L}{R * Coef.}$	1.07	Tn/m
Tracción máxima	$T_m = \frac{RV_b}{H_L}$	1.16	Tn/m

Fuente: Propia

Tabla 31. Tracción total y tracción factora por sismo para diseño.

Punto	Tracción total de sismo con borde libre	tracción que restringe el borde libre por la cubierta	Tracción total por sismo	Tracción total factorada con sismo (1.65*1.4*Tracción Total)
0.0H	14.1 tn/m	-14.1 tn/m	0.0 tn/m	0.0 tn/m
0.1H	20.3 tn/m	-6.3 tn/m	14.0 tn/m	32.3 tn/m
0.2H	26.5 tn/m	-1.4 tn/m	25.1 tn/m	58.0 tn/m
0.3H	33.1 tn/m	0.6 tn/m	33.7 tn/m	77.9 tn/m

0.4H	40.0 tn/m	0.9 tn/m	40.9 tn/m	94.5 tn/m
0.5H	46.3 tn/m	0.7 tn/m	47.0 tn/m	108.6 tn/m
0.6H	50.1 tn/m	0.3 tn/m	50.4 tn/m	116.5 tn/m
0.7H	48.0 tn/m	0.1 tn/m	48.0 tn/m	111.0 tn/m
0.8H	35.8 tn/m	0.0 tn/m	35.8 tn/m	82.8 tn/m
0.9H	14.7 tn/m	0.0 tn/m	14.7 tn/m	34.0 tn/m
1.0H	0.0 tn/m	0.0 tn/m	0.0 tn/m	0.0 tn/m

Fuente: Propia

Figura 53. Tracción total por sismo del reservorio lleno con cubierta.

Fuente: Propia

Tabla 32. Parámetros para el cálculo del momento flector reservorio lleno sin cubierta con base fija.

Altura tirante del líquido	H	6.0	m
Presión equivalente en el borde superior	P_H	2.3	Tn/m ²
Presión equivalente en el borde superior	P_O	3.73	Tn/m ²
Momento por presión uniforme	$p_H H^2$	81.6	Tn-m/m
Momento por presión variable	$(p_H - p_O) * H^3$	-316.53	Tn-m/m

Fuente: Propia

Tabla 33. Momento para reservorio lleno distribución uniforme.

Punto	Coficiente (Tabla A-4) $\frac{H^2}{Dt} = 11$	Momento de carga uniforme por sismo ($M = Coef.* p_H H^2$)
0.0H	0	0.000 Tn-m/m
0.1H	0	0.000 Tn-m/m
0.2H	-0.00005	-0.004 Tn-m/m
0.3H	-0.00005	-0.004 Tn-m/m
0.4H	0.0001	0.008 Tn-m/m
0.5H	0.00065	0.053 Tn-m/m
0.6H	0.00175	0.143 Tn-m/m
0.7H	0.0027	0.220 Tn-m/m
0.8H	0.0024	0.196 Tn-m/m
0.9H	-0.0017	-0.139 Tn-m/m
1.0H	-0.0135	-1.101 Tn-m/m

Fuente: Propia

Tabla 34. Momento para reservorio lleno distribución triangular.

Punto	Coeficiente (Tabla A-2) $\frac{H^2}{Dt} = 11$	Momento de carga Triangular por sismo ($M = Coef.* (p_H - p_o) * H^3$)
0.0H	0	0.00 Tn-m/m
0.1H	0	0.00 Tn-m/m
0.2H	0	0.00 Tn-m/m
0.3H	0.0001	-0.03 Tn-m/m
0.4H	0.0003	-0.09 Tn-m/m
0.5H	0.0005	-0.16 Tn-m/m
0.6H	0.0016	-0.51 Tn-m/m
0.7H	0.0026	-0.82 Tn-m/m
0.8H	0.0027	-0.85 Tn-m/m
0.9H	-0.00085	0.27 Tn-m/m
1.0H	-0.0113	3.58 Tn-m/m

Fuente: Propia

Tabla 35. Momento total para reservorio lleno con base fija.

Punto	Momento presión uniforme	Momento presión variable(-)	Momento total sismo(borde libre)
0.0H	0.00 Tn-m/m	0.00 Tn-m/m	0.00 Tn-m/m
0.1H	0.00 Tn-m/m	0.00 Tn-m/m	0.00 Tn-m/m
0.2H	0.00 Tn-m/m	0.00 Tn-m/m	0.00 Tn-m/m
0.3H	0.00 Tn-m/m	-0.03 Tn-m/m	0.03 Tn-m/m
0.4H	0.01 Tn-m/m	-0.09 Tn-m/m	0.10 Tn-m/m
0.5H	0.05 Tn-m/m	-0.16 Tn-m/m	0.21 Tn-m/m
0.6H	0.14 Tn-m/m	-0.51 Tn-m/m	0.65 Tn-m/m
0.7H	0.22 Tn-m/m	-0.82 Tn-m/m	1.04 Tn-m/m
0.8H	0.20 Tn-m/m	-0.85 Tn-m/m	1.05 Tn-m/m
0.9H	-0.14 Tn-m/m	0.27 Tn-m/m	-0.41 Tn-m/m
1.0H	-1.10 Tn-m/m	3.58 Tn-m/m	-4.68 Tn-m/m

Fuente: Propia

Para el reservorio con cubierta, también se realizó el cálculo de la distribución del momento a causa de la cortante de borde generado por la cubierta. Para ello, se hace uso de la tabla A-9 de la PCA y los datos necesarios se muestran en la tabla 36.

Tabla 36. Datos requeridos para el cálculo del momento por la cortante de borde.

Cortante en el borde	$V_b = \frac{TH_L}{R * Coef.}$	1.07	Tn/m
Altura tirante del líquido	H	6.0	M
	$V_b * H$	6.41	Tn-m/m

Fuente: Propia

Tabla 37. Momento a causa de la cortante de borde, reservorio lleno con cubierta.

Punto	Coeficiente (Tabla A-9) $\frac{H^2}{Dt} = 11$	Momento de la cortante de borde libre ($M = Coef. * V_b * H$)
0.0H	0	0.00 Tn-m/m
0.1H	0.051	0.33 Tn-m/m
0.2H	0.0455	0.29 Tn-m/m
0.3H	0.0255	0.16 Tn-m/m
0.4H	0.0095	0.06 Tn-m/m
0.5H	0.001	0.01 Tn-m/m
0.6H	-0.002	-0.01 Tn-m/m
0.7H	-0.002	-0.01 Tn-m/m
0.8H	-0.0015	-0.01 Tn-m/m
0.9H	-0.0005	0.00 Tn-m/m
1.0H	0	0.00 Tn-m/m

Fuente: Propia

El momento flector de diseño, realizando la suma del momento sin cubierta y el momento causado por la restricción de la cubierta del reservorio. Además, es amplificada por el factor sanitario de 1.3 para flexión y 1.4 por sismo para carga muerta.

Tabla 38. Momento total para el reservorio lleno y con cubierta.

Punto	Momento sin cubierta sísmico	Momento restricción de cubierta sismo	Momento total sísmico sin factor	Momento total sísmico con factor (para diseño= $M * 1.3 * 1.4$)
0.0H	0.00 Tn-m/m	0.00 Tn-m/m	0.00 Tn-m/m	0.00 Tn-m/m
0.1H	0.00 Tn-m/m	0.33 Tn-m/m	0.33 Tn-m/m	0.60 Tn-m/m
0.2H	0.00 Tn-m/m	0.29 Tn-m/m	0.29 Tn-m/m	0.52 Tn-m/m
0.3H	0.03 Tn-m/m	0.16 Tn-m/m	0.19 Tn-m/m	0.35 Tn-m/m
0.4H	0.10 Tn-m/m	0.06 Tn-m/m	0.16 Tn-m/m	0.30 Tn-m/m
0.5H	0.21 Tn-m/m	0.01 Tn-m/m	0.22 Tn-m/m	0.40 Tn-m/m
0.6H	0.65 Tn-m/m	-0.01 Tn-m/m	0.64 Tn-m/m	1.16 Tn-m/m
0.7H	1.04 Tn-m/m	-0.01 Tn-m/m	1.03 Tn-m/m	1.88 Tn-m/m
0.8H	1.05 Tn-m/m	-0.01 Tn-m/m	1.04 Tn-m/m	1.89 Tn-m/m
0.9H	-0.41 Tn-m/m	0.00 Tn-m/m	-0.41 Tn-m/m	-0.75 Tn-m/m
1.0H	-4.68 Tn-m/m	0.00 Tn-m/m	-4.68 Tn-m/m	-8.51 Tn-m/m

Fuente: Propia

Figura 54. Momento total por sismo del reservorio lleno con cubierta.

Fuente: Propia

Finalmente, se realizó el gráfico de la envolvente tanto para las tracciones como se observa en la figura 65 y la envolvente de momentos que se muestra en la figura 66.

Figura 55. Envolvente de tracciones del reservorio lleno con cubierta.

Fuente: Propia

Figura 56. Envolvente de momento flector del reservorio lleno con cubierta.

Fuente: Propia

5.3.2.1 Cálculo del acero a tracción directa

A partir de los valores de la tracción, se realiza el cálculo de acero a tracción directa para el mayor valor, el cual corresponde, a la tracción de diseño por sismo. Los valores obtenidos de acero requerido y separaciones se muestran en la tabla 39. Además, se observa la comparación con los valores obtenidos en campo.

Tabla 39. Acero a tracción directa y separación.

Punto	Tracción Requerida Calculado (Tn/m)	Acero requerido Calculado (cm ²)	Varilla Utilizada	Separación calculada (cm)	Separación Corregida de Campo (cm)	Altura desde la base (m)
0	0.67	0.27				0
0.1	32.31	12.82	5/8"	15.44	20	0.6
0.2	58.01	23.02	1"	22.02	20	1.2
0.3	77.88	30.91	1"	16.40	20	1.8
0.4	94.52	37.51	1"	13.52	20	2.4
0.5	108.57	43.08	1 1/4"	18.38	20	3
0.6	116.50	46.23	1 1/4"	17.13	20	3.6
0.7	110.98	44.04	1 1/4"	17.98	20	4.2
0.8	82.79	32.85	1 1/4"	24.11	20	4.8
0.9	49.77	19.75	3/4"	14.43	20	5.4
1	0.00	0.00	3/4"		25	6

Fuente: Propia

La separación que se tiene en campo es a cada 20 cm, sin embargo, realizando la verificación según el área de acero requerido la separación máxima ($S =$

$\frac{A_v}{A_s} * 100$) para la mayor carga de tracción es de 17.1 cm.

5.3.2.1 Cálculo del acero vertical

CÁLCULO DE ACERO A TRACCIÓN EN LA CARA EXTERIOR CAUSADO POR MOMENTO :			
Mu=	1.89		
Varilla=	5/8"		
d=	18.2		
f'c=	220		
fy=	2800		
a=	0.62909		
As=	4.2014		
Profundidad del bloque a compresión (Whitney) $a := d - \sqrt{d^2 - 2 \cdot \frac{Mu}{0.85 \cdot f'c \cdot \phi_f \cdot b}}$			
Acero requerido por flexión $As := \frac{Mu}{\phi_f \cdot fy \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)}$			
Por refuerzo mínimo:			
As(calculado)=	4.2014		
Asmin(1)=	9.1025		
Asmin(2)=	6.7506		
As(tempertura)=	4.5		
Elegimos la mayor=			
As=	9.10		
Separacion=	21.7523		
Separación a usar=	20		
Control de agrietamiento mediante la separación máxima:			
Mu=	1.89		
M(sin factor)=	0.857		
p=	0.00500		
Ec=	223969.1943		
Es=	2000000		
n=	8.92980		
k=	0.25750		
j=	0.91417		
jd=	16.642		
fs=	565.782	fsa=	1680
fs=	565.782		
Z=	16980		
S_máx:	402.5	CUMPLE	
CÁLCULO DE ACERO A TRACCIÓN EN LA CARA INTERIOR CAUSADO POR MOMENTO :			
Mu=	8.51		
Varilla=	5/8"		
d=	19.205		
f'c=	220		
fy=	2800		
a=	2.8447		
As=	18.998		
Profundidad del bloque a compresión (Whitney) $a := d - \sqrt{d^2 - 2 \cdot \frac{Mu}{0.85 \cdot f'c \cdot \phi_f \cdot b}}$			
Acero requerido por flexión $As := \frac{Mu}{\phi_f \cdot fy \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)}$			
Por refuerzo mínimo:			
As(calculado)=	18.998		
Asmin(1)=	9.6025		
Asmin(2)=	7.1214		
As(tempertura)=	4.5		
Elegimos la mayor=			
As=	18.998		
Separacion=	10.4		
Separación a usar=	20		
Control de agrietamiento mediante la separación máxima:			
Mu=	8.51		
M(sin factor)=	3.852		
p=	0.009892415		
Ec=	223969.1943		
Es=	2000000		
n=	8.929799503		
k=	0.341171791		
j=	0.88627607		
jd=	17.02093192		
fs=	1191.301	fsa=	1680
fs=	1191.301		
Z=	16980		
S_máx:	43.1	CUMPLE	

5.4 DIAGNÓSTICO ESTRUCTURAL

Según la inspección realizada, el reservorio desde el nivel superior de la zapata anular hasta una altura de 2.50 m se observa que la estructura presenta fisuras. Asimismo, en dos zonas, a 1.50m de altura, se puede ver que el recubrimiento del acero es mínimo, tal como se muestra en la figura 67.

Por otro lado, de acuerdo a los cálculos realizados, se demostró que el reservorio se construyó con algunas deficiencias en la separación del acero a la de 0.60 m a 2.40 m del muro, esta zona se muestra en la figura 68, el cual, debe ser rehabilitada.

Figura 57. Zona con defectos y falta de recubrimiento de acero.

Fuente: Propia

Figura 58. Zona para la rehabilitación con TRM.

Fuente: Propia

Asimismo, de la inspección realizada, se puede determinar que la pared cilíndrica presenta fisuras no estructurales, ya que no se evidencia deformaciones excesivas del acero y del concreto. También, se descarta que la falla se debe a la ausencia de juntas de construcción, ya que, pueden identificar visualmente en el interior del reservorio.

Según los cálculos realizados se puede indicar que, el reservorio en su parte cilíndrica (muro) trabaja solo a tracción. Asimismo, a partir de 0.60 m hasta una altura de 2.40 m el reservorio falla por cargas de servicio, ya que, para el acero utilizado (1"), corresponde una separación máxima de 17.1cm y de acuerdo al levantamiento estructural se evidencia una separación de 20.0 cm. Por lo tanto, se demuestra que las fallas observadas no son estructurales. Sin embargo, es necesario proponer la rehabilitación de esta estructura en ese tramo porque las fisuras han ocasionada filtraciones de agua del reservorio y en dos paños se puede observar que el acero se encuentra desprotegido.

6 CAPITULO V: ELABORACIÓN DE PROBETAS Y PROPUESTA DE REHABILITACIÓN CON TRM

6.1 ENSAYO DE PROBETAS CON TEXTILE REINFORCED MORTAR

6.1.1 Ensayo de Tracción Directa (Uniaxial)

En el ensayo de tracción directa para TRM no se encuentra normalizado debido a que existen muchos factores que dificultan su realización. Factores como la fragilidad del concreto, influyen mucho en la forma de falla de la probeta; mientras que, la interacción cabezal/probeta suele generar esfuerzos concentrados en el espécimen. Así mismo, el valor de resistencia obtenido suele depender mucho de la forma en que se realizó el ensayo (J. Raphael, 1985).

El ensayo se realizó con el equipo descrito por Escrig (2015), el cual cuenta con una prensa electromecánica de 1T de capacidad de carga. Al no ser un ensayo de tracción convencional, requiere que el equipo cuente con unas mordazas rectangulares y una prensa de menor capacidad de carga (1 kN). Por esta razón, los ensayos fueron realizados por la empresa SERINCO de Colombia, ya que, al haber aplicado el sistema de refuerzo TRM en varios de sus proyectos cuentan con el equipo para el ensayo. Se realizó también las consultas a los laboratorios locales como el de la UNI y la PUCP que indicaron que cuentan con el equipo adecuado para realizar este ensayo.

6.2 ELABORACIÓN DE PROBETAS

6.2.1 Preparación de probetas:

Las probetas para el ensayo de tracción se realizaron tomando como referencia lo realizado por Escrig en su tesis doctoral en el 2015. Las probetas son de forma rectangular de 400 mm de longitud con una sección transversal 32 mm y un espesor de 6 mm. El refuerzo corresponde a una sola malla de tejido de fibra de vidrio de dimensiones 395 x 30 mm, tal como se muestra en la figura 69.

Figura 59. Dimensiones de probetas de TRM ensayados.

Fuente: ESCRIG 2015

Los pasos a seguir para la preparación de las probetas son los siguientes.

- Corte del tejido y de las láminas elastoméricas ABN según las dimensiones especificadas.
- Preparación del mortero según especificaciones técnicas del fabricante.
- Impregnación del encofrado de madera con desmoldante Sika Lac previo a la aplicación de la primera capa de mortero de 3mm de espesor.
- Colocación de la primera capa de mortero de 3 mm de espesor.
- Colocación del tejido o malla de refuerzo y aplicación de la segunda capa de mortero de 3 mm.
- Eliminación del mortero excedente del molde de madera.
- Curado al aire de los especímenes en condiciones internas durante al menos 28 días.
- Para el caso de las probetas con refuerzo en los extremos, se colocó 2 capas de tejido luego de la primera capa de mortero.

Previamente a la ejecución de los ensayos, se deberá pegar láminas elastoméricas en los extremos de las probetas, para evitar el daño del mortero en

la zona de sujeción. Asimismo, se debe instalar una galga extensiométrica en el dentro de las probetas para registrar la deformación de cada espécimen.

Para la investigación se efectuaron 6 probetas, de los cuales, 4 probetas fueron reforzadas en los extremos donde se colocarán las mordazas del equipo de tracción y 2 probetas sin refuerzos en los extremos.

Figura 60. Impregnación de líquido desmoldante en el encofrado (izquierda) y Colocación de la primera capa de mortero (derecha).

Fuente: ESCRIG 2015

Figura 61. Probeta de TRM terminada lista para su ensayo.

Fuente: ESCRIG 2015

6.2.2 Materiales

El TRM, es un material compuesto por dos componentes que corresponden a la matriz y la malla de refuerzo. Para la investigación se utilizó como matriz al mortero de concreto “Sika Rep” y como tejido o refuerzo a la fibra de vidrio “SikaWrap®-350 G Grid”, cuyas características vistas en la hoja técnica del fabricante se muestran en el Anexo IV y se detalla a continuación.

6.2.2.1 Mortero Sika Rep

Es un mortero pre dosificado de alta calidad, el cual se encuentra listo para usar con solo agregar agua. Este material tiene características tixotrópicas, las cuales le permite ser usado sobre cabeza sin escurrir. Asimismo, está basado en aglomerantes cementicios, fibras sintéticas, micro sílice, aditivos especiales y agregados inertes de granulometría controlada.

El uso de este producto está dedicado a la reparación estructural de elementos de concreto, reconstrucción de concreto en aplicaciones verticales, horizontales y cielo raso y la reparación de vigas, losas, muros y pavimentos, estanques de agua potable, obras hidráulicas, túneles, puentes, canales y obras de concreto en general. Asimismo, según la hoja técnica del producto tiene las siguientes ventajas:

- La facilidad de aplicar con propiedades tixotrópicas y buena trabajabilidad incluso en aplicación sobre cabeza,
- Buena adherencia a concreto, acero, piedra, albañilería,
- Módulo de Elasticidad y Coeficiente de Expansión térmica similar al concreto
- Alta resistencia a compresión, flexión y tracción
- Alta resistencia al desgaste
- La rapidez en la puesta en servicio.

Figura 62. Mortero SikaRep.

Fuente: <http://www.sikachile.cl/>, (Sika, 2020)

1) Dosificación

Cantidad	1 saco de 30kg
Agua	4.5 +/- 0.3 litros

2) Tensiones de Adherencia

Soporte	Concreto
Adherencia	7 días: 0.57 MPa 28 días: 0.91 MPa

3) Tiempo de Fraguado

Temperatura	+5°C	+20°C	+30°C
Comienzo fraguado	4h	2h 25	1h 10
Fin fraguado	9h	4h 10	2h 40

4) Resistencia Mecánica

Plazo (días)	1	3	7
Compresión (kgf/cm²)	250	450	500

6.2.2.2 Malla SikaWrap 350 Grid

Tejido a base de fibra de vidrio resistente a álcali para morteros reforzados con textiles. El uso de este producto es generalmente para el refuerzo de muros de ladrillo o piedra, anclaje de muros separadores a la estructura portante y aumento de resistencia de los muros a las solicitaciones horizontales (refuerzo de las estructuras de hormigón).

Entre las ventajas que posee el producto, es la gran resistencia a la tracción en ambas direcciones de la fibra, no presenta problemas de corrosión y es resistente a la alcalinidad del cemento.

Figura 63. SikaWrap 350G Grid.

Fuente: <https://hrv.sika.com> (SIKA, 2020)

1) Resistencia a tracción

Longitudinal : 77 kN/m

Transversal : 76 kN/m

6.2.3 Procedimiento de ensayo

Para el ensayo se utilizó el equipo de tracción automatizada con mordazas mecánicas y una prensa electromecánica de 10Kn de capacidad de carga, el cual, se aplicó a una velocidad de 0.5 mm/min, el esquema de la disposición de la probeta se muestra en la figura 74. Los pasos efectuados para el ensayo son los siguientes:

- Adherir la laminas elastómeras a los extremos de la probeta
- Adherir la galga extensométrica en el centro de la probeta.
- Sujeción de la probeta a las mordazas de la prensa evitando su daño.
- Inicio del ensayo aplicando la carga el control de desplazamiento a una velocidad de 0.5 mm/min.
- El ensayo se da por concluido una vez que la probeta sufre el fallo por rotura de la fibra.

Figura 64. Configuración del ensayo a tracción de la probeta TRM.

Fuente: (Escrig, Estudio del comportamiento mecánico de vigas de hormigón armado reforzados a flexión y a cortante con materiales compuestos de matriz cementicia, 2015, pág. 241)

Figura 65. Configuración inicial de la mordaza y el ensayo de tracción.

Fuente: (Escrig, Estudio del comportamiento mecánico de vigas de hormigon armado reforzados a flexión y a cortante con materiales compuestos de matriz cementicia, 2015, pág. 242)

6.3 RESULTADOS Y PROPUESTA DE REHABILITACION

Los ensayos se realizaron en los laboratorios de la empresa SERINCO COLOMBIA, ya que cuenta con el equipo con las características descritas por Escrig, el informe del laboratorio de materiales de SERINCO se muestra en el Aneo V.

Para los ensayos, se elaboraron 6 probetas de TRM con los materiales descritos previamente, 4 de estos especímenes fueron reforzados en los extremos donde irán las mordazas. Las denominaciones de los especímenes se muestran en la tabla 40.

Tabla 40. Combinaciones de las probetas.

Designación TRM	Tejido	Matriz	Combinación Matriz-Tejido(*)
JB095-1	SikaWrap®-350 G Grid	Sika Rep	Comercial
JB095-2	SikaWrap®-350 G Grid	Sika Rep	Comercial

JB095-3	SikaWrap®-350 G Grid	Sika Rep	Comercial*
JB095-4	SikaWrap®-350 G Grid	Sika Rep	Comercial*
JB095-5	SikaWrap®-350 G Grid	Sika Rep	Comercial*
JB095-6	SikaWrap®-350 G Grid	Sika Rep	Comercial*

(*) Probetas reforzadas en los extremos.

Realizado los ensayos se obtuvo los resultados que fueron emitidos mediante el Expediente LM-OCT-0985-A/2018 por la empresa SERINCO Colombia, los cuales se muestran en la tabla 41.

Tabla 41. Resultados de las probetas ensayadas.

Espécimen	df (mm)	fft (MPa)	Ef* (GPa)	Eft (%)	ffu (MPa)	Ef (GPa)	εfu (%)	Refuerzo extremo	Modo de fallo (*)
JB095-1	32.65	188.56	152.94	0.11	426.82	37.41	0.72	NO	1
JB095-2	32.25	169.81	146.28	0.11	401.58	35.78	0.62	NO	1
JB095-3	31.82	175.22	159.47	0.12	719.23	41.39	1.52	SÍ	3
JB095-4	32.25	162.14	140.75	0.12	650.23	34.82	1.78	SÍ	3
JB095-5	30.72	182.42	151.81	0.11	642.82	36.24	1.65	SÍ	3
JB095-6	31.80	178.36	138.52	0.12	618.64	38.53	1.27	SÍ	3

(*)1: Rotura en el interior de la mordaza, 2: Rotura en la zona central de la probeta, 3: Fallo en la junta del refuerzo adicional extremo.

Donde:

d_f : Ancho de la probeta

f_{ft} : Tensión en el punto de transición

E_{f*} : Módulo de elasticidad longitudinal del espécimen sin fisurar

ε_{ft} : Deformación en el punto de transición

f_{fu} : Resistencia última a tracción

E_f : Módulo de elasticidad longitudinal del espécimen fisurado

ε_{fu} : Deformación última

Figura 66. Grafico del modo de falla tipo 1, al interior de la mordaza.

Figura 67. Grafico del modo de falla tipo 3, falla en la junta del refuerzo adicional.

6.3.1 Interpretación de Resultados

De acuerdo con los datos obtenidos, se puede afirmar que instalar tejido adicional en el extremo de las probetas influye en el modo de fallo de los especímenes.

Las probetas que no se ejecutaron con refuerzo extremo fallaron en el ámbito de la mordaza, mientras las que fueron ejecutadas con tejido adicional fallaron por la zona central o la junta del mismo.

Con respecto a la tensión y deformación en el punto de transición, se refiere a la tensión y deformación alcanzada cuando se presenta la primera fisura. Asimismo, para los módulos de elasticidad “E”, también se presenta un E antes de la fisura y un E fisurado. Es importante señalar que las fisuras se dan en la matriz (mortero), pero el sistema sigue aumentando su resistencia, hasta que falla el tejido.

La máxima resistencia última a la tracción del TRM reforzado con fibra de vidrio y con refuerzo adicional en los extremos obtenida es de 719.23MPa (73340 T/m²) y la máxima resistencia última a la tracción de este mismo sistema sin refuerzo adicional en los extremos obtenida es de 426.82MPa (43524 T/m²) en ambos casos la resistencia es mayor comparada con el acero grado 40 que tiene una resistencia a la tracción de 420MPa (42828T/m²).

La máxima deformación última para el TRM reforzado con fibra de vidrio y con refuerzo adicional en los extremos es de 1.78%, mientras que para el mismo sistema la máxima deformación última sin refuerzo en los extremos es de 0.72%. Esto indica que, la fibra de vidrio, tiende a tener una mayor deformación incluso que el acero mismo antes de su rotura (deformación máxima del acero: 0.5%)

6.3.2 Propuesta de rehabilitación

Por los resultados obtenidos en los ensayos de probetas, donde se observa que el TRM presenta mayor resistencia a la tracción que el acero grado 40, se propone rehabilitar el reservorio con TRM.

El detalle del procedimiento de rehabilitación con TRM que consta de cinco fases, se muestra en los planos adjuntos en el Anexo VI, asimismo, se describe a continuación los pasos en cada una de las fases.

FASE I

1. Verificar que el tanque se encuentre vacío (sin agua).
2. Se procede a delimitar el área de rehabilitación en paños de 1.80 m de alto por 3.00 m de ancho (Ver plano R2)
3. Se realiza el picado del primer paño (PAÑO 1), con un martillo de demolición eléctrico, hasta detrás del acero de refuerzo horizontal. En el caso que las varillas presentan corrosión, se deberá realizar una limpieza de éstas utilizando el transformador de óxido Chema. (Ver plano R2)

Figura 68. Tramos para la rehabilitación de la zona afectada.

Fuente: Propia.

FASE II

1. Se procede a limpiar la zona picada (PAÑO 1) y se humedece con agua limpia (zona saturada superficialmente seca), con la finalidad de evitar que el concreto antiguo absorba agua del mortero del sistema TRM. (Ver plano R3)
2. Luego, se aplica el aditivo de adherencia Chemawels (Ver plano R3), el cual debe ser diluido en agua en proporción 1:1 hasta obtener la consistencia plástica deseada. Según el Manual de Reparaciones y Refuerzos Estructurales del Ministerio de Vivienda y Urbanismo (Gobierno de Chile), indica que, si el material de refuerzo es un mortero de base cementítica, se tendrá que usar un epóxico para garantizar la adherencia entre el concreto viejo y nuevo. Si el caso es que el mortero es de base epóxica, ya no necesita un aditivo, pues este mortero ya cuenta con componentes que se encargarán de la adherencia. Se tomaron como referencia las siguientes normas:

La primera norma tomada en consideración es la ASTM C-1059, (Especificaciones estándares para agentes Látex para unir concreto viejo con concreto nuevo), se refiere a la utilización de agentes látex y cabe mencionar, que esta norma no rige el ensayo para adherencia del tipo estructural, para ello debemos avocarnos a la norma ASTM C-881, (Especificaciones para sistemas de adherencia para concreto a base de resinas epóxicas), que es la que se refiere al método que cubre la determinación del sistema a base de resinas epóxicas, su manipulación, aplicación y el cuidado que se debe tener al manejarlas.

Para la elaboración de la probeta se debe referir a la norma ASTM C-882, (Método estándar de la prueba para la fuerza de adherencia en los sistemas epóxicos a base de resina usados con concreto.), esta norma proporciona datos específicos de las dimensiones que debe guardar el espécimen.

Figura 69. Aplicación de aditivo en el paño a rehabilitar.

Fuente: Propia.

FASE III

1. En esta fase, se procede con la colocación de la primera capa de mortero Sika Rep de 1 cm en el primer paño (Ver plano R4). Este procedimiento se debe realizar antes que el aditivo de adherencia se empiece a secar.

Figura 70. Aplicación de la primera capa de mortero.

Fuente: Propia.

FASE IV

1. En esta fase, se procede a colocar el textil de fibra de vidrio con rodillo en el primer paño sobre el mortero fresco. El detalle de instalación se puede observar en los planos R5, R7, R9, R10 y R 11.
2. Por otra parte, esta rehabilitación con TRM viene acompañado por un anclaje en U del mismo sistema TRM, pero como la estructura es circular, se recomienda hacer empalmes de las mallas, con el fin de evitar alguna falla por despegue del sistema TRM. Para este proyecto, se realizan dos tipos de empalme, el primero consta de un empalme de 20 cm entre la malla superior e inferior y el segundo consiste en un empalme de 1 m al tercio de mallas contiguas tanto para la línea superior como inferior (mayor detalle en instalación de la malla de fibra de vidrio - Plano Tanque TRM).

Figura 71. Instalación de la malla de refuerzo de fibra de vidrio.

Fuente: Propia

FASE V

1. Se aplica la segunda capa de mortero de 1cm sobre el textil instalado (Ver plano R6). En el plano R8 se puede ver el detalle de la instalación finalizada en el tramo 1.
2. Una vez realizadas las 5 fases en el primer paño, se repiten las mismas en los siguientes paños delimitados y por la cara húmeda del reservorio. A continuación, se detallan las pruebas de calidad que se debe realizar para garantizar el éxito del procedimiento constructivo.

Figura 72. Instalación de la segunda capa de mortero TRM.

Fuente: Propia

Disponibilidad de recursos en obra

En cuanto al abastecimiento de recursos en obra, en su totalidad se conseguir en la ciudad de Lima. A continuación, se presenta el siguiente cuadro, en el que se relacionan las partidas, recursos y la fuente.

Tabla 422. Cuadro de partidas, recursos y fuente.

ÍTEM	PARTIDAS	UNIDAD	RECURSOS	FUENTE
01.00.00	<u>OBRAS PROVISIONALES</u>			
01.01.00	Almacén	und	Contenedor almacen ligera	Alquiler proveedor local
01.02.00	Agua para la construcción	und	Agua	Centro de Reservorio de agua
01.03.00	Servicios higiénicos	glb	SS.HH	Centro de Reservorio de agua
01.04.00	Energía Eléctrica	glb	Energía eléctrica	Centro de Reservorio de agua
01.05.00	Limpieza de obra	m2	Escobillones, recogedor, contenedor de residuos	Ferreterías locales, home center, etc.
02.00.00	<u>OBRAS PRELIMINARES</u>			
02.01.00	Trazo y Replanteo general	m2	Tiza, wincha, cordel, plomada, etc	Ferreterías locales, home center, etc.
02.02.00	Transportes de equipos y herramientas	glb	Camion de carga de 5 Tn	Alquiler proveedor local
03.00.00	<u>DEMOLICIÓN</u>			
03.01.00	Demolición de o hasta encontrar el acero estructural. Incluye eliminacion de excedentes.	m2	Martillo de demolición eléctrico	Ferreterías locales, home center, etc.
04.00.00	<u>REHABILITACIÓN</u>			
04.01.00	Tratamiento del acero estructural con aplicación de Transformador de óxido.	m2	Transformador de Oxido	Ferreterías locales, home center, etc.
04.02.00	Aplicación de aditivo para mejorar la adherencia del nuevo mortero reforzado.	m2	Aditivo de adherencia	Home Center o proveedor local de Sika, Chema, Etc
04.03.00	Tarrajeo de la primera capa de mortero	m2	Sika REP 500	Proveedor local Sika *
04.04.00	Colocación de malla reforzada de fibra de vidrio	m2	Sika Wrap 500	Proveedor local Sika *
05.00.00	<u>PRUEBAS DE CALIDAD</u>			
05.01.00	Prueba de Adherencia	glb	Equipo de medición para prueba de adherencia	Alquiler proveedor local
05.02.00	Prueba de Estanqueidad	m3	agua	Centro de Reservorio de agua

* Se adjuntan cotizaciones

Fuente: Propia

Con respecto al Sistema TRM, se plantea el uso de productos SIKA, para la matriz cementítica SIKA REP 500 y para el tejido SIKA WRAP 350 o 500, de ambos recursos se ha solicitado las cotizaciones correspondientes para verificar su

disponibilidad para obra. Las cotizaciones de los productos se muestran en el Anexo VII de la tesis, donde se puede apreciar los precios actuales de cada material.

6.3.3 Pruebas de Calidad

Por último, se recomienda las pruebas de calidad, que comprende la prueba de adherencia y la prueba de estanqueidad, para verificar la resistencia del mortero y encontrar alguna fuga o fisura en el tanque (Revisar marco teórico y Plano Tanque TRM)

6.3.3.1 Prueba de Adherencia

Una vez terminado el proceso constructivo, se aplica golpes en la superficie terminada (seca), solo para comprobar la dureza, el ensayo propiamente dicho tiene las siguientes características:

- Se tiene que realizar luego de 28 días debido a que en este tiempo el TRM alcanza su máxima resistencia.
- Consiste en hacer 3 pequeñas perforaciones sobre la superficie terminada y se introduce unos tubos en las perforaciones y se procede a colocar la máquina sobre los 3 tubos y se mide la resistencia

Este ensayo tiene como finalidad:

- Evaluar la resistencia de unión entre el refuerzo y mortero.

6.3.3.2 Prueba de Estanqueidad

De acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-007-CNA-1997, Requisitos de seguridad para la construcción y operación de tanques para agua, se deben realizar trabajos preliminares para iniciar con las pruebas de estanqueidad.

Trabajos preliminares:

- Verificar que los trabajos de sellado de huecos producto del encamisado, se hayan concluido.

- Revisar las reparaciones en general de los elementos en el interior y realizar cualquier reparación que se necesite, como son: reparación de fisuras y oquedades en el concreto.
- Colocar en el exterior del pasamuros tapas con bridas o soldadas o cualquiera otro elemento que no permita la salida del líquido en las pruebas.
- Preparar la colocación de bombas, mangueras para el llenado.
- Limpiar el interior del tanque de escombros, basura y material sedimentado.
- Utilizar agua limpia libre de patógenos o microorganismos de procedencia fecal.
- Los requerimientos de seguridad para la construcción y operación de los tanques de agua, se debe realizar de acuerdo con la norma oficial mexicana NOM-007-CNA1997, donde se considera que el tanque se debe llenar en 3 fases:
 - 33 por ciento de la capacidad del tanque
 - 66 por ciento de la capacidad del tanque
 - 100 por ciento de la capacidad del tanque

Si en algunas de estas fases, se observa una fuga por una fisura no estructural, se tendrá que proceder a realizar la reparación y volver a realizar el llenado del tanque, para la última fase de llenado, la cual corresponde al tanque lleno, se tendrá que dejar por un periodo de 24 horas y verificar si no existe alguna fuga, si cumple esta condición, se da por aprobada la prueba.

7 CONCLUSIONES

1. En total se realizaron la inspección de 13 reservorios apoyados en el distrito de Villa María del Triunfo, donde se pudo notar que la mayoría presentaba defectos o patologías en los primeros metros, específicamente desde la cota 0.60 m a la 2.40 m, por ello, se seleccionó al reservorio R-6A de 750 m³ de capacidad como una muestra representativa para la evaluación.
2. Al realizar la configuración estructural del reservorio R-6A, a partir de los datos proporcionados, la información obtenida de campo respecto a la disposición de refuerzos en la estructura y la resistencia del concreto. Se observó que en el proceso de construcción no se respetó la separación del refuerzo horizontal a la altura de 0.60 m hasta los 2.40 m, ya que, al acero de refuerzo utilizado de diámetro de 1” correspondía una separación de 17.1 cm. Sin embargo, esta zona según el levantamiento de campo se tiene una separación uniforme de 20 cm, lo que provocó que se generen fisuras no estructurales por la carga de servicio.
3. Se realizó el ensayo de 06 probetas de TRM compuestas por tejido de fibra de vidrio (SikaWrap®-350 G Grid) como refuerzo y la matriz un mortero de concreto (Sika Rep), los ensayos fueron realizados en los laboratorios de Serinco – Colombia, ya que no se contaba con el equipo con las características para el ensayo a tracción en nuestro país. Los resultados arrojaron que las probetas tuvieron roturas en la zona de mordazas y en la unión con la zona de refuerzo, lo que no permite afirmar exactamente la verdadera resistencia del material TRM, sin embargo, de acuerdo a los resultados del ensayo realizado se obtiene que su resistencia a la tracción es 719.23 MPa que es superior a la del acero grado 40 (400MPa).
4. La propuesta de la rehabilitación de la estructura con TRM, se basa en los estudios previos realizados a manera de investigación de este material, ya que, se promueve el reemplazo del FRP (polímero reforzado con fibra) material utilizado ampliamente para el refuerzo estructural desde los años 90 y que durante este tiempo presentó problemas de adherencia entre la superficie a reforzar (concreto) y el material

compuesto. Sin embargo, en todas las intervenciones realizadas se ha demostrado que confiere a la estructura mayor resistencia a la tracción.

5. De acuerdo a los estudios previos realizados por Escrig y otros, se puede presumir que el TRM permite rehabilitar estructuras de concreto con fallas no estructurales de forma no invasiva confiriendo a la estructura una mayor resistencia a la tracción.
6. Finalmente, indicar que el uso de TRM está en una fase inicial a nivel mundial, ya que, la bibliografía e investigaciones al respecto de su comportamiento es escasa. Las pruebas y ensayos a realizar aún no están normadas como en el caso del FRP, es por eso, que la investigación aporta conocimiento básico para que en posteriores investigaciones puedan profundizar en la caracterización del TRM y posterior uso en la rehabilitación o refuerzo de estructuras de concreto armado.

8 RECOMENDACIONES

1. En posteriores trabajos de investigación, es recomendable realizar un mayor número de ensayos de caracterización del TRM, para conocer con mayor precisión sus propiedades mecánicas.
2. En caso de la rehabilitación, es recomendable realizar por paños para que el proceso constructivo se lleve de manera adecuada y correcta, a fin que la rehabilitación desarrolle su máxima capacidad de resistencia.
3. Durante la rehabilitación es necesario realizar las pruebas de calidad esenciales como la prueba de adherencia y la prueba de estanqueidad.
4. En el desarrollo de la investigación se presentaron dificultades para realizar el ensayo a tracción de las probetas de TRM, por ello, sería recomendable contar con el equipo adecuado para los ensayos y la caracterización de las propiedades mecánicas del TRM.
5. Durante el desarrollo de la investigación se vio que es necesario profundizar en el estudio del mecanismo de la transmisión de esfuerzos de la estructura hacia el TRM, es decir, la adherencia entre la matriz y el refuerzo. Comportamiento que varía según los materiales que componen el refuerzo y se recomienda realizar en futuras investigaciones para resolver estas incógnitas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACI Committee 440. (2007). Report on Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Reinforcement for Concrete Structures. American Concrete Institute, 104.
- Alario E. (2013). Fisura No Estructurales en Elementos de Hormigón
- Alegre, G. (2017). Estudio de la influencia en la resistencia y ductilidad de las fibras de carbono utilizadas como reforzamiento de vigas de concreto armado. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Alegría, N. (2016). Refuerzo de Estructuras de Concreto mediante FRP. Sika Perú.
- Asbby, M. (2005). Materials selection in mechanical design. Oxford: Pergamon Press.
- Ascate, D. (2013). Efecto de un aditivo impermeabilizante en la capilaridad de un mortero de cemento/arena en el norte del Perú. Universidad Privada del Norte, Perú.
- Askeland, D., & Phulé, P. (2004). Ciencia e ingeniería de los materiales . Mexico: Thomson.
- ASTM Internacional (2008) Historical Standard: Método de Ensayo Normalizado para la Determinación de la Resistencia a la Flexión del Concreto (Utilizando Viga Simple con Carga en los Tercios del Claro)
<https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/C78C78M-02-SP.htm> [Consulta: 02 de febrero de 2018]
- Baca, W. (2008). Diseño de Estructuras de Concreto Reforzadas con Fibra de Carbono. Constructivo, 8.
- Bernat, E. (2014). Comportamiento estructural de muros de carga de obra de fábrica reforzados con TRM. In M. Pérez, Aplicaciones avanzadas de los materiales

compuestos en la obra civil y la edificación (pp. 137-164). Barcelona: Omnia Science.

Carrión, L., & Corpus, B. (2015). Procedimiento de diseño estructural de un reservorio circular apoyado de concreto armado cumpliendo los parámetros de la propuesta de norma E030-2014 para la zona de Cajamarquilla. Lima: Universidad Ricardo Palma.

Comisión Nacional del Agua. (2007). Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Mexico, D.F.: Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Díaz, A., & Meniz, B. (2019). Evaluación estructural de reservorios apoyados de concreto armado en Lima Metropolitana considerando la norma ACI 350-06 y las normativas peruanas. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.

Escrig, C. (2014). Refuerzo a cortante de vigas de hormigón armado mediante TRM. In M. Pérez, Aplicaciones avanzadas de los materiales compuestos en la obra civil y la edificación (pp. 81-104). Barcelona: Omnia Science.

Escrig, C. (2015). Estudio del comportamiento mecánico de vigas de hormigón armado reforzadas a flexión y a cortante con materiales compuestos de matriz cementicia (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Cataluña, España.

Forcada, I. (2014). Concreto Presforzado. Universidad Nacional Autónoma de México.

Gogate, A., & Domel, A. (1993). Circular Concrete Tanks Without Prestressing. Portland Cement Association, 59.

Guillén, M., & Rojas, A. (2017). Análisis del comportamiento dinámico del agua en tanques apoyados rectangulares y cilíndricos bajo acción sísmica. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.

- Hernández O y Mendoza C (2005) “Durabilidad e infraestructura: retos e impacto Socioeconómico” INGENIERÍA Investigación y Tecnología VII. 1. 57-70, 2006, 3-14
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. d. (2014). Metodología de la Investigación. México D.F.: Mc Graw Hill.
- Lago, P. (1997). Manual para Reparación, Refuerzo y Protección de las Estructuras de Concreto. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, México.
- Lovera, L. (2016). El refuerzo de estructuras de concreto armado con aceros de grado 75 en el Perú. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Master Builders Solutions (2016). Master Brace. BASF Construction Chemicals España.
- Martos, F. (2018). Comportamiento sísmico en reservorios apoyados circulares y rectangulares de diferentes volúmenes considerando las zonas sísmicas de Cajamarca. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS). (2006). Reglamento Nacional de Edificaciones. Recuperado de <http://www.construccion.org/normas/> [Consulta: 15 de mayo de 2018]
- Pavón, V. (2001). Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto para Contener Líquidos. Toluca: Fundación ICA.
- Perez, Marco (2014) . Aplicaciones avanzadas de los materiales compuestos en la obra civil y la edificación 1a Edición, OmniaScience
- Portland Cement Association (1943) Circular Concrete Tanks Without Prestressing
- Romea, C. (2014). El hormigón: breve reseña histórica de un material milenar. En M. Pérez, Aplicaciones avanzadas de los materiales compuestos en la obra civil y la edificación. (pág. 307). Barcelona: Omnia Science.

San-José, J. (2014). Refuerzo a flexión de hormigones a bajas prestaciones. Empleo del TRM como material compuesto, España.

SIKA. (25 de Noviembre de 2020). hrv.sika.com. Obtenido de <https://hrv.sika.com:https://hrv.sika.com/hr/gradevina/sanacija-i-zastita/karbonske-trake-i-vlakna/sikawrap-350-g-grid.html>

Sika. (20 de Noviembre de 2020). <http://www.sikachile.cl/>. Obtenido de <http://www.sikachile.cl: http://www.sikachile.cl/productos-sika/sikarep/>

Timoshenko, Stephen (1959) “Theory of plates and shells”, McGraw-Hill

Vélez, L. (2010). Permeabilidad y Porosidad en el Concreto. Revista Tecno Lógicas, 25, 169-187.

Yoon Sanchu, Kejin Wang, W. Jason Weiss y Surendra P. Shah, Noviembre - Diciembre (2000), “Interaction between Loading, Corrosion, and Serviceability of Reinforced Concrete”, ACI Materials Journal, Technical Paper, 637-644.

ANEXOS

**ANEXO I: INFORME N° 02 -2016 -MSV -
EVALUACION Y DIAGNOSTICO ESTRUCTURAL DE
RESERVORIOS APOYADOS EXISTENTES.**

ANEXO II: INFORME LABORATORIO UNI, TESTIGOS DIAMANTADOS DE CONCRETO

ANEXO III: CONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL DEL RESERVORIO R-6A, TABLAS DE LA PCA.

ANEXO IV: HOJA TÉCNICA DE MATERIALES

ANEXO V: RESULTADOS DE LABORATORIO

SERINCO COLOMBIA

ANEXO VI: PLANOS PARA REHABILITACIÓN

ANEXO VII: COTIZACIÓN DE MATERIALES